

**NADJA LÍDIA BERTONI GHANI**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA,  
GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ALTIMONTANOS DERIVADOS DE  
RIÓLITO E MIGMATITO DA SERRA DO MAR-PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de concentração Ciência do Solo-Sub-Área Gênese, Mineralogia e Classificação de Solos, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha

**CURITIBA**

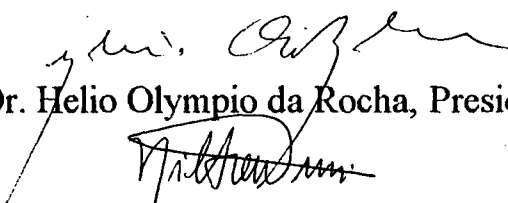
**1996**

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO  
"MESTRADO"**

**P A R E C E R**

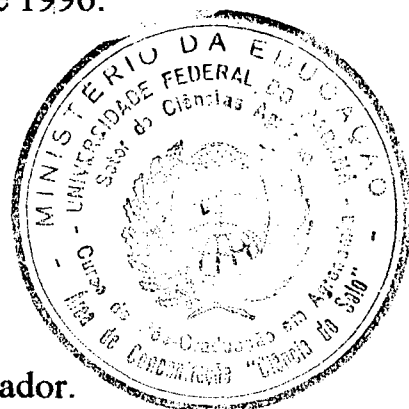
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **NADJA LIDIA BERTONI GHANI**, com o título: **"Caracterização morfológica, física, química, mineralógica, gênese e classificação de solos altimontanos derivados de riólito e migmatito da Serra do Mar-PR"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação com o conceito **"A"** completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo".

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 30 de julho de 1996.

  
Prof. Dr. Helio Olympio da Rocha, Presidente.

  
Prof. Dr. Nilton Curi, Iº Examinador

  
Prof. M.Sc. Marcia Freire Machado Sá, IIº Examinador.



[ ]. Não há humanismo real a não ser o que busca a realização coletiva, a desalienação dos sentidos do homem, a erradicação das mazelas sociais. Numa palavra, **humanista** pode ser considerada a atitude que visa, além de si, o outro. Como um mestre do lúdico, não foi sem razão que Chaplin reivindicou-se um “cidadão do mundo”. Como um gênio da comédia, ele buscava universalizar a alegria.

Paulo Denisar Vasconcelos

Dedico

aos meus pais

Maria Rosa Bertoni Ghani e Kamel Mahmud Abdel Ghani

ao meu sobrinho e afilhado

Munir Ghani Niederauer

## AGRADECIMENTOS

Ao curso de **Pós-Graduação em Agronomia-Área de concentração Ciência do Solo-UFPR**, pela contribuição à formação científica.

A **CAPES**, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Dr. **Helio Olympio da Rocha-UFPR**, pela orientação, exemplo de dedicação ao trabalho, compreensão e amizade.

Ao professor Dr. **João Bertoldo de Oliveira-IAC**, pelas imperiosas revisões.

Ao professor Dr. **Nestor Kämpf-UFRGS**, pelos difratogramas de raios-X dos óxidos de Fe e pela expedita revisão da mineralogia.

Aos professores **Irene Maria Cardoso**, **Jaime Wilson Vargas Mello** e ao Chefe do Departamento de Solos, **Luiz Eduardo Fontes-UFV**, por terem permitido à autora realizar em Viçosa-MG: o Fe ditionito, o Fe sulfúrico e a análise térmica diferencial.

Ao professor Dr. **Arthur Santos Filho-UFPR**, pela coordenação dos trabalhos de campo.

Ao professor **Robin Mario Hofmeister**-Centro de Microscopia Eletrônica-UFPR, pela coordenação dos trabalhos para obtenção das fotomicrografias eletrônicas de transmissão.

Ao professor **Nelson Luiz Chodur**-Departamento de Geologia-UFPR, pela coordenação da análise mineralógica quantitativa da fração areia.

Ao geólogo **Jose Roberto de Gois**, por ter feito o reconhecimento dos riólitos a campo.

Ao professor Dr. **Carlos Bruno Reissmann**-Laboratório de Nutrição de Plantas-**UFPR**, pelas discussões dos procedimentos metodológicos.

A **PLANAGRO**, proprietária da área de estudo, por ter permitido o acesso e a realização dos trabalhos.

Ao **TECPAR**, pela moagem da rocha.

A **MANFRA & CIA LTDA.**, pelo empréstimo do altímetro.

Ao **IAP**, pela doação da carta topográfica de São José dos Pinhais-PR.

A **Liliana Luisa Pizzolato**-Biblioteca de Ciências Agrárias-**UFPR**, pela revisão das normas de apresentação da dissertação.

Aos amigos **Nerilde Faretto**, **Cícero Deschamps** e **Maria do Rocil L. Rocha** pela acolhida hospitaleira nas suas casas, solidariedade e amizade.

## SUMÁRIO

	<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>xi</b>
	<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS.....</b>	<b>xv</b>
	<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>xvi</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>xviii</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xix</b>
<b>1</b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u>.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>REVISÃO DA LITERATURA</u>.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE SOLOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1</b>	<b>PRINCÍPIOS BÁSICOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE SOLOS.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>SOLOS ORGÂNICOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO AMERICANA DE SOLOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>HISTOSOLS</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>MINERALOGIA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1</b>	<b>GIBBSITA (Gb).....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2</b>	<b>CAULINITA (Ka) E HALOISITA (Ha).....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3</b>	<b>VERMICULITA COM HIDROXI-AL ENTRECAMADAS (VHE).....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.4</b>	<b>ÓXIDOS DE Fe.....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b><u>MEIO FÍSICO</u>.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>LOCALIZAÇÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>CLIMA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3</b>	<b>VEGETAÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>3.4</b>	<b>GEOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.6</b>	<b>SOLOS.....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b><u>MATERIAL E MÉTODOS</u>.....</b>	<b>36</b>

<b>4.1</b>	<b>MATERIAL.....</b>	<b>36</b>
4.1.1	SOLOS.....	36
4.1.2	APARELHOS.....	37
<b>4.2</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.2.1	EDIÇÃO.....	37
4.2.2	CLASSIFICAÇÃO.....	38
4.2.3	DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA.....	38
4.2.4	ANÁLISES FÍSICAS.....	38
4.2.4.1	Preparo das amostras.....	38
4.2.4.2	Análise granulométrica.....	39
4.2.5	ANÁLISES QUÍMICAS.....	41
4.2.5.1	pH em H <sub>2</sub> O e pH em KCl 1N.....	41
4.2.5.2	Al trocável (acidez trocável).....	41
4.2.5.3	Ca + Mg trocáveis.....	41
4.2.5.4	Ca trocável.....	42
4.2.5.5	K trocável.....	42
4.2.5.6	P assimilável.....	42
4.2.5.7	Acidez potencial (H + Al).....	42
4.2.5.8	C orgânico.....	43
4.2.5.9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3T</sub> (total).....	43
4.2.5.10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3O</sub> (oxalato).....	44
4.2.5.11	Fe <sub>2</sub> O <sub>3P</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3P</sub> (pirofosfato).....	45
4.2.5.12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub> (ditionito).....	46
4.2.5.13	Fe <sub>2</sub> O <sub>3S</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3S</sub> (sulfúrico).....	47
4.2.5.14	Sílica na terra fina.....	47
4.2.6	VALORES CALCULADOS.....	48
4.2.6.1	Grau de floculação (GF).....	48
4.2.6.2	Soma de bases (S).....	48
4.2.6.3	CTC potencial.....	48
4.2.6.4	Acidez não trocável (H).....	48
4.2.6.5	Saturação por bases (V).....	48



4.2.6.6	CTC em 100 g de argila livre de carbono.....	48
4.2.6.7	Saturação por alumínio (m).....	49
4.2.6.8	Relação molecular (Ki).....	49
4.2.6.9	$\Delta pH$ .....	49
4.2.6.10	Substituição do Fe por Al na goethita.....	49
4.2.6.11	Largura à meia altura (LMH).....	49
4.2.6.12	Relação $K_a / K_a + G_b$ .....	50
4.2.7	ANÁLISES MINERALÓGICAS DA FRAÇÃO ARGILA.....	50
4.2.7.1	Obtenção da fração argila.....	50
4.2.7.2	Tratamentos da fração argila.....	50
4.2.7.3	Concentração dos óxidos de Fe.....	53
4.2.8	ANÁLISE MINERALÓGICA DA FRAÇÃO AREIA.....	54
4.2.8.1	Raios-X.....	54
4.2.8.2	Quantitativo visual.....	54
4.2.9	ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (FERRIMAGNETISMO)	54
<b>5</b>	<b><u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u></b> .....	55
<b>5.1</b>	<b>PERFIL 1</b> .....	55
5.1.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO.....	55
5.1.2	CLASSIFICAÇÃO.....	61
5.1.3	MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $Fe_2O_3$ E $Al_2O_3$ .....	68
<b>5.2</b>	<b>PERFIL 2</b> .....	83
5.2.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO.....	83
5.2.2	CLASSIFICAÇÃO.....	90
5.2.3	MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $Fe_2O_3$ E $Al_2O_3$ .....	96
<b>5.3</b>	<b>PERFIL 3</b> .....	111
5.3.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO.....	

	RES DE FORMAÇÃO.....	111
5.3.2	PROPOSTA PARA MATERIAL ORGÂNICO E HORIZONTE ORGÂNICO, AMBOS DE DRENAGEM LIVRE.....	121
5.3.3	CLASSIFICAÇÃO.....	125
5.3.4	MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	130
5.4	<b>PERFIL 4</b> .....	142
5.4.1	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS.....	142
5.4.2	CLASSIFICAÇÃO.....	147
5.4.3	PROPOSTA PARA CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS DE DRENAGEM LIVRE.....	150
5.4.4	MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	156
6	<b><u>CONCLUSÕES</u></b> .....	162
7	<b><u>RECOMENDAÇÕES</u></b> .....	166
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	167

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1a - LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS.....	23
FIGURA 1 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 1.....	56
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 1.....	57
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1.....	58
FIGURA 4 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 2.....	84
FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 2.....	85
FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2.....	86
FIGURA 7 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 3.....	112
FIGURA 8 - FOTOGRAFIA DA PAISAGEM DO PERFIL 3.....	113
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 3.....	118
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3.....	118
FIGURA 11 - POSIÇÃO NA PAISAGEM DO PERFIL 3 (P3) E DO PERFIL 4 (P4).....	142
FIGURA 12 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 4.....	143
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 4.....	144
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4.....	145
FIGURA 15 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 1.....	68
FIGURA 16 - TERMOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 1.....	69
FIGURA 17 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE BA DO PERFIL 1.....	71
FIGURA 18 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE Bw2 DO PERFIL 1.....	72
FIGURA 19 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE BC DO PERFIL 1.....	73
FIGURA 20 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	

RIFICADA SATURADA COM K (25°C) DOS HORIZONTES SELE-	
CIONADOS DO PERFIL 1.....	75
FIGURA 21 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA SATURADA COM Mg E GLICOLADA DOS HORIZON-	
TES SELECIONADOS DO PERFIL 1.....	76
FIGURA 22 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DOS ÓXIDOS DO PERFIL 1.....	77
FIGURA 23 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA GROSSA	
DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 1.....	82
FIGURA 24 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA FINA DOS	
HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 1.....	82
FIGURA 25 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 2.....	96
FIGURA 26 - TERMOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DOS	
HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 2.....	97
FIGURA 27 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA DO HORIZONTE Bt DO PERFIL 2.....	98
FIGURA 28 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA DO HORIZONTE C DO PERFIL 2.....	99
FIGURA 29 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA SATURADA COM K (25°C) DOS HORIZONTES SELE-	
CIONADOS DO PERFIL 2.....	100
FIGURA 30 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER-	
RIFICADA SATURADA COM Mg E GLICOLADA DOS HORIZON-	
TES SELECIONADOS DO PERFIL 2.....	101
FIGURA 31 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA	
DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 2.....	103
FIGURA 32 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA	
DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 2.....	103
FIGURA 33 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA	
DO HORIZONTE Bt DO PERFIL 2.....	104
FIGURA 34 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA	

DO HORIZONTE Bt DO PERFIL 2.....	104
FIGURA 35 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DOS ÓXIDOS DO PERFIL 2.....	106
FIGURA 36 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA GROSSA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 2.....	108
FIGURA 37 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA FINA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 2.....	108
FIGURA 38 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 3.....	130
FIGURA 39 - TERMOGRAMAS DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 3.....	131
FIGURA 40 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA ROCHA DO PERFIL 3 (P3) E DO PERFIL 4 (P4).....	132 159
FIGURA 41 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA DO HORIZONTE Bi DO PERFIL 3.....	133
FIGURA 42 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA SATURADA COM K (25°C) DOS HORIZONTES SELE- CIONADOS DO PERFIL 3.....	134
FIGURA 43 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFER- RIFICADA SATURADA COM Mg E GLICOLADA DOS HORIZON- TES SELECIONADOS DO PERFIL 3.....	135
FIGURA 44 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 3.....	137
FIGURA 45 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 3.....	137
FIGURA 46 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bi DO PERFIL 3.....	138
FIGURA 47 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bi DO PERFIL 3.....	138
FIGURA 48 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DOS ÓXIDOS DO PERFIL 3.....	139
FIGURA 49 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA GROSSA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 3.....	140

FIGURA 50 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA FINA DOS HORIZONTES SELECIONADOS DO PERFIL 3.....	140
FIGURA 51 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 4.....	156
FIGURA 52 - TERMOGRAMA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE SELECIONADO DO PERFIL 4.....	157
FIGURA 53 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 4.....	158
FIGURA 54 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 4.....	158
FIGURA 55 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DOS ÓXIDOS DO PERFIL 4.....	159
FIGURA 56 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA GROSSA DO HORIZONTE SELECIONADO DO PERFIL 4.....	161
FIGURA 57 - DIFRATOGRAMA DE RAIOS-X DA FRAÇÃO AREIA FINA DO HORIZONTE SELECIONADO DO PERFIL 4.....	161

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 - ANÁLISE MINERALÓGICA DO RIÓLITO DA FORMAÇÃO GUARATUBINHA.....	30
TABELA 2 - ANÁLISE QUÍMICA DO RIÓLITO DA FORMAÇÃO GUARATUBINHA.....	30
QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 1.....	66
QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 2.....	94
QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 3.....	127
QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 4.....	154

## LISTA DE SIGLAS

CAPES -	FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
CEPEGE -	CENTRO PAULISTA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS
COMEC -	SISTEMA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
CNPS -	CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS
EMBRAPA -	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
FAO -	FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (OAA: ORGANIZAÇÃO PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA)
IAC -	INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS
IAP -	INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ
IAPAR -	FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ
ITCF -	INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS
SCA -	SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
SCS -	SOIL CONSERVATION SERVICE
SMSS -	SOIL MANAGEMENT SUPPORT SERVICES
SNLCS -	SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS
TECPAR -	INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ
UFPR -	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UFRGS -	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UFV -	UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
UPR -	UNIVERSITY OF PUERTO RICO
UNESCO -	UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA)



USA - UNITED STATES OF AMERICA (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA)  
USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
URSS - UNIÃO DAS REPÚBLICAS SOCIALISTAS SOVIÉTICAS

## RESUMO

Os solos estudados localizam-se em São José dos Pinhais-PR-Brasil, na Serra do Mar; sobrejacentes à formação Guaratubinha. Foram estudados 4 perfis com os seguintes objetivos: caracterizá-los morfológicamente, fisicamente e quimicamente; estudar os fatores de formação; discutir a classificação e classificá-los; realizar proposta para classificação de material orgânico, de horizonte orgânico e de Solo Orgânico de drenagem livre; estudar a mineralogia das frações argila e areia; estudar as formas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; e fazer inferências sobre a gênese. O Perfil 1 situa-se a 930 m; repousa no migmatito. Apresenta as seguintes características: **morfológicas**: muito profundo, transição difusa, coloração vermelho-amarelado; **físicas**: 98% de terra fina, textura argilosa, relação silte/argila de 0,52, grau de floculação de 100%; **químicas**: pobre em nutrientes, médio  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , caráter álico e argila Tb; **mineralógicas**: na fração argila predomina em ordem decrescente: caulinita, goethita com elevada substituição por Al (25 mol %), Vermiculita hidroxil-Al entrecamadas (VHE) e gibbsita; na fração areia predomina quartzo. A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  é relativamente elevada ( $> 0,76$ ), evidenciando predomínio de óxidos de Fe cristalinos (goethita). O pedoclima é údico méxico. A sua classificação é Latossolo Variação Una. A soma de todas as suas características indica adiantado desenvolvimento pedogenético. Os Perfis 2, 3 e 4 repousam sobre o riólito; encontram-se, respectivamente nas altitudes, 1.035, 1.210 e 1.150 m. Apresentam as seguintes características: **morfológicas**: profundo, pouco profundo e pouco profundo, respectivamente; cores predominantes preto e bruno; **físicas**: cascalhos e calhaus; textura argilosa, média e média, respectivamente; relação silte/argila elevada; **químicas**: pobre em nutrientes, baixo  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , caráter álico, argila Tb e elevado C orgânico; **mineralógicas**: no Perfil 2 predomina haloisita (alguma caulinita), secundariamente VHE, a seguir gibbsita; no Perfil 3 (Bi), predomina gibbsita, secundariamente caulinita, a seguir VHE; no Perfil 4 (Od) predomina caulinita e haloisita, secundariamente VHE e a seguir gibbsita; nesses 3 perfis o único óxido de Fe é a goethita; na fração areia predomina quartzo. A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  dos perfis é respectivamente 0,55, 0,69 e 0,59. Em todos os perfis os teores da gibbsita aumentam com a profundidade, e essa tendência intensifica-se nos Perfis 2, 3, e 4, que apresentam os maiores teores de C orgânico. Os horizontes superficiais apresentam elevados teores de C orgânico, que interferem na cristalização da gibbsita, impedindo-a e/ou retardando-a. A classificação dos Perfis 2; 3; e 4, é respectivamente Podzólico Bruno-Acinzentado; Cambissolo e Solo Litólico. Os perfis apresentam grau de intemperismo: moderado, baixo e baixo, respectivamente. Apresentam pedoclima perúxico méxico. Proposta para material orgânico de drenagem livre: C orgânico  $\geq 13,33\%$ ; condições de drenagem livre. Proposta para horizonte orgânico (folístico) de drenagem livre: C orgânico  $\geq 13,33\%$ ; condições de drenagem livre; horizonte mineral subjacente com espessura  $> 10$  cm. Proposta para Solo Orgânico de drenagem livre: C orgânico  $\geq 13,33\%$ ; condições de drenagem livre; apresentar qualquer espessura, desde que, repouse sobre contato lítico ou litóide; ou material fragmentar e os seus interstícios sejam preenchidos total ou parcialmente com material orgânico; ou pode apresentar horizonte mineral  $\leq 10$  cm entre o contato e o material orgânico.

## ABSTRACT

The studied soils overlying in Guaratubinha formation, and are located at Serra do Mar region, in São José dos Pinhais, in State of Paraná, in Brazil. The main objectives in the 4 profiles were: to characterize them chemically, physically and morphologically; to study their the formation factors; to discuss their classification and classify them; to realize proposal for classification of organic material, of organic horizon and of Organic Soil with free drainage; to study the mineralogy of clay and sand fractions; to study  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  forms and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; and to infer about their genesis. The Profile 1 is situated at 930 m altitude; overlying migmatite. It presents the following characteristics: **morphological**: very deep, difuse transition, yellowish red color; **physical**: 98% of fine earth, clay texture, 0.52 silt/clay ratio, 100% floccule degree; **chemical**: low nutrients contents, medium  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , allic character and low clay activity; **mineralogical**: kaolinite predominates in clay fraction, secondaryly by goethite with high Al-substitution (25 mole% Al), after hydroxy-interlayered vermiculite (HIV) and gibbsite; quartz predominates in the sand fraction. The  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  ratio is high ( $> 0.76$ ), which evidence predominancy of cristaline Fe oxides (goethite). Its pedoenviroment is udic mesic. Its classification is Latossolo Variação Una. The sum up all its characteristics, indicate advanced development. The Profiles 2, 3 and 4 overlying rhyolite; they are at 1.035, 1.210 and 1.150 m, respectively. They present the following characteristics: **morphological**: deep, little deep and little deep, respectively; predominant colors, black and brown; **physical**: gravel and pebble; clay, medium and medium textures, respectively; high silt/clay ratio; **chemical**: low nutrients contents, low  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , allic character, low clay activity and high organic C; **mineralogical**: halloysite predominates in Profile 2 (some kaolinite), secondaryly HIV and after gibbsite; gibbsite predominates in Profile 3 (Bi), secondaryly kaolinite and then HIV; kaolinite and halloysite predominate in Profile 4 (Od), secondaryly HIV and then gibbsite; goethite is unique Fe oxide in 3 profiles; and quartz predominates in sand fraction. The  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  ratio of profiles is 0.55, 0.69 and 0.59 respectively. In every profiles the gibbsite contents increase with deepth increase and this is more intense in Profiles 2, 3 and 4, which present highest contents the organic C. The surface horizons have highest contents the organic C, which interfere (hindered and/or delay) in gibbsite crystallization. The classification of Profiles 2, 3 and 4 is Podzólico Bruno-Acinzentado; Cambissolo and Solo Litólico, respectively. The profiles present moderate, low and low of weathering degree, respectively. Its pedoenviroment is perudic mesic. The propose for organic material of free drainage is: organic C  $\geq 13.33\%$ ; free drainage conditions. The propose for organic horizon (folic) of free drainage is: organic C  $\geq 13.33\%$ ; free drainage conditions; mineral horizon underlying with thickness  $> 10$  cm. The propose for Organic Soil of free drainage is: organic C  $\geq 13.33\%$ ; free drainage conditions; have any depth, since: overlying lithic or paralithic contact; or fragmental material that interstices total or partially filled with organic material; or mineral horizon  $\leq 10$  cm thickness between the contact and organic material.

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos altimontanos da região fisiográfica da Serra do Mar-PR-Brasil são pouco estudados, principalmente por estarem localizados em áreas de difícil acesso, provocado não somente pelo relevo montanhoso e escarpado, característico desta região metropolitana de Curitiba, como também pela presença de vegetação densa, precipitação intensa e caminhos raros. Tendo em vista que os trabalhos até agora realizados são exíguos e de natureza genérica, a presente investigação é uma tentativa de ampliar o conhecimento de solos altimontanos derivados do riólito da formação Guaratubinha e, em particular, focalizar com mais detalhe os Solos afins com os Solos Orgânicos e também os Solos Orgânicos de drenagem livre, os quais não são considerados pela Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil, de CAMARGO *et al.* (1987). A execução de estudos mais detalhados e aprofundados sobre caracterização, classificação e mineralogia de solos altimontanos, situados na porção Sul da Serra do Mar reveste-se de grande importância para o conhecimento mais pormenorizado de solos dessa parte da mata Atlântica.

As peculiaridades dos solos altimontanos são evidenciadas pelas suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, através da presença de indivíduos inusitados: Solos afins com os Solos Orgânicos, que a partir deste estudo passam a ser conhecidos com mais detalhes e incluídos à população de solos do País, através, sobretudo, dos subsídios propostos à classificação de solos em uso no Brasil. Ademais, a mineralogia também evidencia algumas particularidades desses solos, trazendo contribuições importantes, a saber: a influência dos elevados teores de C orgânico nos teores da gibbsita.

Além disso, o estudo pedológico na Serra do Mar confirma a fragilidade ambiental da área, no que diz respeito à elevada suscetibilidade à erosão, em decorrência do relevo muito acidentado: a maioria dos solos são pouco profundos e rasos. O relevo e a elevada pluviosidade da serra justificam a preservação da sua mata, pois a cobertura vegetal é efetiva no controle à erosão e conseqüente conservação dos solos, assim como na manutenção e preservação dos recursos hídricos e da fauna nativa.

Através do levantamento realizado por ROCHA *et al.* (1992, p. 60), pode-se observar a fragilidade da paisagem pelas toposseqüências típicas das vertentes nas rochas vulcânicas ácidas da formação Guaratubinha. Nos topos das vertentes onde estão os níveis mais antigos (pediplano Pd<sub>3</sub>) de erosão ocorrem Solos Litólicos e Afloramentos de Rocha; e o restante da vertente é constituído, via de regra, por Cambissolos. Nos dois outros níveis de erosão (pediplanos Pd<sub>1</sub> e Pd<sub>2</sub>) dominam os Cambissolos, geralmente associados a Solos Litólicos, que ocorrem nas porções mais dissecadas do relevo.

A Serra do Mar é uma região crítica do ponto de vista de segurança ambiental e nacional, pois a não preservação das suas matas pode causar um desastre ecológico. As vias de comunicação que constituem o corredor de exportação, importante para a economia do Estado, são protegidas naturalmente pelas matas serranas. A preservação dos topos de morros, montanhas e serras é garantida pelo Código Florestal, mas, apesar disso, ocorre o desmatamento. Os efeitos do desmatamento ficaram evidentes em catástrofes já ocorridas, às erosões, às enchentes, nos prejuízos às instalações portuárias, no perigo de entulhamento da baía de Paranaguá, nos desmoronamentos e deslizamentos do sistema rodo-ferroviário e também na ameaça à segurança da população que reside no sopé da serra (BIGARELLA, 1978a, p. 8).

A região serrana situada a Leste de Curitiba constitui verdadeiro manancial de água pura e cristalina, cujo fornecimento é garantido através do seu alto índice de pluviosidade. As

fontes naturais apropriadas são as vertentes ocidentais da serra marginal ao planalto. A floresta, com seu tapete de detritos vegetais, garante o fornecimento de água de excelente qualidade. Além disso, é garantida por lei a preservação permanente das florestas destinadas a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico; a asilar exemplares da fauna e flora ameaçados de extinção; e assegurar condições de bem-estar público. A Serra do Mar é um patrimônio incontestável de excepcional beleza, interesse científico e atrativo turístico (BIGARELLA, 1978a, p. 8-9).

Os objetivos principais do presente trabalho estão relacionados, a seguir:

- a) estudar as características morfológicas, físicas e químicas e os fatores de formação dos solos;
- b) discutir a classificação e classificar os solos;
- c) realizar proposta para classificação de material orgânico e de horizonte (ou camada) orgânico, ambos de drenagem livre;
- d) realizar proposta para classificação de Solos Orgânicos de drenagem livre;
- e) estudar a mineralogia das frações argila e areia; as formas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e fazer inferências sobre a gênese dos solos.

A proposta elaborada em relação à classificação de Solos Orgânicos de drenagem livre, vem no sentido de levantar a discussão, fornecer subsídios e melhorias à classificação em vigor, pois o conhecimento de tais solos é praticamente inexistente.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE SOLOS

#### 2.1.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS

Os princípios básicos para classificação de solos propostos por CLINE (1949) são utilizados tanto na Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (CAMARGO *et al.*, 1987), como na 3.<sup>a</sup> Aproximação (EMBRAPA, 1988c) e também na Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1975).

O propósito de qualquer classificação é organizar o conhecimento do homem de forma que as propriedades dos objetos possam ser rememoradas e os seus parentescos (relações) ou afinidades entendidos com mais facilidade para um determinado objetivo específico. A **classificação natural ou taxonômica** é de tal modo que o nome da classe traz à mente muitas das suas características, fixando cada grupo mentalmente em relação a todos os demais com o objetivo de mostrar parentescos num maior número de características importantes.

A natureza encerra várias populações derivadas de algum fenômeno natural, como, por exemplo de: animais, vegetais e solos. O menor corpo natural que pode ser definido como um objeto completo por si mesmo é denominado **indivíduo** e o seu conjunto forma a **população**. Os membros de uma população têm propriedades em comum que são intrínsecas e responsáveis pela sua existência; entretanto a variação dentro da população é tão grande que o homem não é capaz de perceber similaridades e entender parentescos entre seus indivíduos na forma “desordenada” em que se encontram. Na tentativa de ordenar o conhecimento da população,

ela é dividida em **classes**, formadas por grupamentos de indivíduos semelhantes em determinadas características selecionadas e distintivas das demais classes da mesma população.

As classes dos objetos naturais são um **segmento da população**, isto é, graduam-se por pequenos passos para outras classes, constituindo-se em segmentos de séries contínuas; por isso, jamais podem ser separadas por barreiras intransponíveis. Se todos os indivíduos da população fossem ordenados em uma série contínua de acordo com o valor mais alto até o mais baixo de uma característica distintiva, as classes passariam por estágios imperceptíveis de um extremo a outro, de tal forma que os indivíduos adjacentes da população poderiam ser muito semelhantes, enquanto dois membros extremos poderiam ser muito diferentes. O indivíduo final de uma classe poderia ser mais semelhante ao membro adjacente da próxima classe do que ao indivíduo extremo a ele da mesma classe.

As **classes** apresentam um intervalo ou uma amplitude total de variação com valores de limite máximo e mínimo, enquanto o valor central do intervalo da classe é expresso pelo **indivíduo modal**, cujas propriedades são típicas ou modelo da classe. A determinação do indivíduo modal pode ser de acordo com observações das propriedades de um indivíduo real, ou ser estimada por representação estatística de um indivíduo hipotético derivado de amostragem retirada da classe.

Para cada classe, algumas características são escolhidas como base do grupamento, servindo para diferenciação entre classes, são denominadas **características distintivas**. Uma classe bem concebida fundamenta-se em características distintivas importantes para seu objetivo central e é associada também a um número máximo de **características acessórias** covariantes, possibilitando a elaboração de múltiplas afirmações precisas e importantes a respeito da classe, aumentando assim a sua significância.



As classes como um todo podem ser definidas pelos valores médios das características distintivas e acessórias ou seja pelo indivíduo modal; esse com seus respectivos desvios do valor padrão dentro do intervalo de variação define a **variabilidade da classe**.

Quando a população é diversa a tal ponto que qualquer grupamento singular fracassa para mostrar parentescos e informações desejadas, as classes formadas podem ser subdivididas e estas, por sua vez, também podem ser subdivididas novamente. Assim, podem-se realizar quantas subdivisões sucessivas forem necessárias de maneira que se esgotem as características distintivas. Cada **nível categórico** é determinado por um número de características distintivas. Os níveis categóricos, por sua vez, apresentam uma coleção de classes que contemplam todos os indivíduos da população: isso define o “**princípio da totalidade da categoria taxonômica**”.

Os vários graus categóricos ordenados **hierarquicamente** constituem um sistema **multicategórico descendente**, que parte de um nível categórico mais elevado para um mais baixo. As classes de alto nível categórico apresentam um mínimo de afirmações, portanto poucas características distintivas e acessórias, onde os indivíduos apresentam maior: heterogeneidade, variabilidade, generalização ou abstração. Ao contrário, as classes de baixo grau categórico apresentam um maior detalhamento, com um número máximo de informações e com maior número de características distintivas e acessórias acumuladas de todos os níveis acima, resultando em indivíduos mais homogêneos, específicos e com baixo nível de abstração.

O corpo do conhecimento a respeito de qualquer fenômeno natural aumenta à medida que estudos da sua população vão sendo realizados e, como consequência, tentativas para efetuar um sistema natural completo de classificação devem passar por uma **série de aproximações**. Portanto o grau de melhoria de cada nova aproximação é proporcional à magnitude do conhecimento acumulado e do seu efeito e da sua aplicação na taxonomia de solos e nos conceitos básicos.

A **classificação natural ou taxonômica** desempenha função extremamente importante na organização, denominação e definição das classes, que são as unidades básicas usadas para:

- a) identificar amostras de indivíduos que são objetos de pesquisa;
- b) organizar dados de pesquisa para descobrir parentescos dentro da população;
- c) formular generalizações a respeito da população e da origem de seus parentescos;
- d) aplicar generalizações para casos específicos que não tenham sido estudados diretamente (extrapolações).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE SOLOS

O sistema brasileiro de classificação de solos está sob a coordenação do SNLCS/EMBRAPA, atual CNPS/EMBRAPA. O esquema em vigor é uma base de referência de caráter provisório, ainda está em processo de elaboração e vem sofrendo ampla reformulação, visando um sistema oficial, explícito e organizado. O seu objetivo é abranger todos os solos conhecidos no Brasil, num sistema aberto e incompleto, ao qual novas classes poderão ser incorporadas. Apresenta caráter multicategórico e descendente, com base morfogenética, uma vez que sua organização está centrada em critérios que expressam processos pedogenéticos, através do uso de características distintivas de natureza morfológica, física, química e mineralógica. O horizonte diagnóstico B sozinho (ou com outras características distintivas) determina as classes de solos. As classes de solos ocupam um nível categórico elevado e as demais propriedades distintivas são divisões subseqüentes de classes em níveis categóricos inferiores. As características distintivas correntemente aplicadas na Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil são em sua maior parte derivadas e extraídas da FAO (1974) e da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1975), de acordo com CAMARGO *et al.* (1987, p. 3-4).

Para elaborar o sistema brasileiro de classificação de solos, que se encontra hoje na sua 3.<sup>a</sup> Aproximação, editada em 1988, optou-se pelo processo de desenvolvimento gradativo, através de aproximações sucessivas. A 3.<sup>a</sup> Aproximação apresenta 13 classes de solos no nível categórico mais elevado, e cada classe é constituída por grupamentos de solos. Além disso, foram criados os níveis categóricos II; III; e IV, representados, respectivamente, pelas seguintes características distintivas: seqüência de horizontes, horizontes superficial e subsuperficial; atividade da argila, saturação por bases (e Al; Na), sais solúveis e tipo de contato; típico, *intergrade* e *extragrade*. Todos os níveis categóricos fundamentam-se em critérios distintivos e em bases que justificam a sua existência. Também foram elaboradas, probatoriamente, as definições das 13 classes de solos (EMBRAPA, 1988c, p. 9, 34, 59-61).

Existe, contudo, pouco conhecimento científico sobre nossos solos, havendo a necessidade de um entendimento mais perfeito sobre o que essencialmente distingue seus vários tipos. Isso tem dificultado a elaboração de uma taxonomia brasileira hierárquica que abranja os solos conhecidos e possibilite identificá-los segundo classes mais gerais, em níveis mais elevados, até repartições segundo tipos específicos, bem discriminados e homogêneos. Atualmente todos os solos brasileiros conhecidos estão agrupados em 36 classes gerais; nenhuma publicação atual, contudo, as relaciona e conceitua de maneira unívoca. Muitas das suas conceituações carecem ainda de consistência e por isso, em muitos casos, retratam a concepção que os autores fazem delas, devido à inexistência de um documento normativo, oficial, a respeito (OLIVEIRA *et al.*, 1992, p. 1-2).

Em vista dos objetivos principais deste trabalho (p. 2), aqui tratar-se-á somente da classe de Solos Orgânicos.

### 2.2.1 SOLOS ORGÂNICOS

OLIVEIRA (1992, p. 79-80) correlacionou a legenda de referência universal das classes de solos do planeta, ou seja, da FAO/UNESCO com as classes de solos utilizadas nos levantamentos pedológicos no Brasil, e assinalou que o esquema em vigor não inclui a classe de Solos Orgânicos de drenagem livre (*Folic*). No entanto, coloca a possibilidade da ocorrência desses solos nas regiões altimontanas dos Estados do RS, SC e PR, apesar de até o momento tal classe não ter sido descrita.

ROCHA (1992)<sup>1</sup>, através de comunicação pessoal, fez menção à virtual existência de Solos Orgânicos de drenagem livre na Serra do Mar-PR, observados por ocasião de levantamento de solos realizado durante o período de 1990 a 1992.

A Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil considera, entre as classes de solos em nível elevado, os Solos Orgânicos, definindo-os como hidromórficos, com material mormente orgânico e com a presença de horizonte sulfúrico ou não, denominando-os, respectivamente, Solos Orgânicos Tiomórficos ou Solos Orgânicos Não Tiomórficos. Como propriedades diagnósticas para divisões subseqüentes em categorias inferiores, são consideradas: saturação por bases ou Al e fraca saturação por Na (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 15).

Na 3.<sup>a</sup> Aproximação, a classe de solo 13 contempla o grupamento de Solos Orgânicos, que compreende os seguintes solos: Orgânicos, Semi-Orgânicos, Tiomórficos de constituição orgânica ou semi-orgânica e parte dos Solos Litólicos turfosos. O grupamento é definido como hidromórfico, pouco evoluído, essencialmente orgânico, proveniente de acumulações de restos vegetais em grau variável de decomposição sob ambiente mal a muito mal drenado, de

---

<sup>1</sup> Opinião expressa por ocasião da escolha da área de trabalho à época da elaboração do projeto e definição dos objetivos desta dissertação.

coloração preta, cinzento muito escuro ou marrom e com elevado teor de C orgânico. Com espessura  $\geq 60$  cm, se 75% ou mais do volume é fibra de esfagno ou se a densidade aparente ( $D_a$ ) é  $< 0,1$ ; ou com espessura  $\geq 40$  cm e satisfazendo os requisitos para material orgânico; ou com espessura  $< 40$  cm se assente sobre a rocha ou material fragmentar, com os interstícios preenchidos por material orgânico (EMBRAPA, 1988c, p. 37, 57).

A característica distintiva utilizada para determinar a classe de Solo Orgânico é a presença de **material orgânico**, que é definido como constituído predominantemente por compostos orgânicos, comportando proporções variáveis de material mineral, desde que satisfaça um dos seguintes requisitos:

- a) C orgânico  $\geq 12\%$ , se a fração mineral contém  $\geq 60\%$  de argila, ou;
- b) C orgânico  $\geq 8\%$ , se a fração mineral não contém argila, ou;
- c) C orgânico entre 12 e 8%, se a fração mineral contém entre 0 e 60% de argila, isto é,  $C \geq 8 + 0,067 \times \text{argila}\%$  (EMBRAPA, 1988b, p. 2).

O conceito dos horizontes e das camadas de constituição orgânica compreende condições de drenagem livre e de drenagem impedida. O material orgânico pode acumular-se sob condições de saturação por água por longos períodos do ano ou ser produzido sob condições livre de saturação por água, ou ocasional saturação, por somente uns poucos dias do ano (EMBRAPA, 1988a, p. 7).

O horizonte turfoso é essencialmente orgânico, superficial ou não, e forma-se em condições de drenagem impedida, ou seja, de excesso d'água permanente ou temporário ( $\geq 30$  e  $< 365$  dias consecutivos), em qualquer época do ano e na maioria dos anos. Quando constitui horizonte diagnóstico superficial de solo mineral, apresenta espessura  $> 20$  e  $< 40$  cm e satisfaz um dos critérios exigido para C orgânico relacionado com o teor de argila. No entanto pode ter

espessura  $> 40$  e  $< 60$  cm se for constituído por  $\geq 75\%$  de esfagno ou se a  $D_a$  (úmido)  $< 0,1$  (EMBRAPA, 1988b, p. 14-15).

As designações **O** e **H** qualificam horizontes ou camadas de constituição orgânica. A designação **O** representa condições de drenagem livre, mas superúmidas, podendo estar ocasionalmente saturada por água por somente uns poucos dias do ano, e é considerada como sobrepondo a alguns solos minerais altimontanos. De outro modo, a designação **H** (superficial ou não) representa condições de drenagem impedida e é relacionada a Solos Orgânicos ou a outros solos hidromórficos com horizonte turfoso (EMBRAPA, 1988a, p. 9-10).

As designações **O** e **H** representam baixa ou alta evolução pedogenética. No caso de baixa evolução, o material orgânico é pouco ou nada decomposto, restando ainda muito de reconhecível da estrutura da planta, e denomina-se **camada**, recebendo o sufixo conotativo subordinado de **o** (mal ou não decomposto). No caso de alta evolução, o material orgânico está quase decomposto ou já decomposto e denomina-se **horizonte**, sendo simbolizado pelo sufixo **d** (acentuada decomposição) (EMBRAPA, 1988a, p. 9-10).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO AMERICANA DE SOLOS

O sistema americano de classificação de solos é constituído de seis categorias identificadas, do nível categórico mais alto ao mais baixo, pelos termos: **Ordem**, **Subordem**, **Grande Grupo**, **Subgrupo**, **Família** e **Série**. O sistema é multicategórico e, em consequência, hierárquico; taxonômico por apresentar classes nos níveis categóricos; descendente, iniciando no nível categórico mais alto que é o mais generalizado, com maior amplitude total de variação; finalizando no nível categórico mais baixo que é específico, em que as classes são mais homogêneas (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 71-81).

Tendo em vista os objetivos principais desta dissertação, será focalizado somente a ordem dos *Histosols*, e em especial os de drenagem livre, a subordem dos *Folists*.

### 2.3.1 HISTOSOLS

Os Solos Orgânicos constituem a **Ordem** dos *Histosols* (G. *Histos* = tecido; L. *solum* = solo). O elemento formativo **ist** da ordem é usado na terminação dos nomes das classes nos níveis categóricos subseqüentes (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 71-81).

Os *Histosols* ocupam 4,31 milhões de km<sup>2</sup> equivalentes a 3,3% da área total de solos do mundo. A distribuição dos *Histosols* no planeta é a seguinte: URSS com 64%; Finlândia com 12%; Canadá com 9%; USA (excluindo Alasca) com 5%; Suécia com 3,2%; Irlanda com 2,5% do total. A América do Sul apresenta 0,38 x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> de *Histosols*, ou seja, 2,1% da sua área total (EVERETT, 1983, p. 6-7).

Os *Histosols* são compostos principalmente de material orgânico, isto é, de tecidos de plantas e animais e de seus produtos de decomposição. Esses solos formaram-se durante o Holoceno (últimos 10.000 anos) (DOLMAN e BUOL, 1967<sup>2</sup> citados por BUOL *et al.*, 1989, p. 228-229).

Os *Histosols* podem formar-se virtualmente em qualquer clima, mesmo em regiões áridas, desde que a água seja disponível. Alguns estão sob o gelo permanente e outros estão no Equador. Quanto à posição na paisagem, podem estar próximos às depressões, ou nos pântanos litorâneos, ou sobre vertentes, ou cobrindo uma paisagem dissecada; neste caso ocorrem somente em clima frio e muito úmido. A feição comum é a presença da condição de umidade, que pode ser de qualquer fonte (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 211).

---

<sup>2</sup> DOLMAN, J.D; BUOL, S.W. A study of organic soils (Histosols) in the tidewater region of North Carolina. **North Carolina Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.** v. 181, 1967.

Os *Histosols* que ocupam posição de depressão na paisagem ou “aclimáticos” independem do clima, enquanto os de altitude são “climáticos” e dependem principalmente da quantidade de chuva. Os *Histosols* do topo das montanhas nunca são saturados por água, exceto por poucos dias seguidos de fortes chuvas; são rasos e as raízes das plantas crescem somente no material orgânico (BUOL *et al.*, 1989, p. 229).

A vegetação consiste em ampla variedade de plantas ombrófilas e plantas tolerantes a água (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 211).

No geral, os *Histosols* são determinados em função da presença de material orgânico e da espessura. A maioria dos *Histosols* é saturada por água e contém no mínimo 12% ou 18% de C orgânico; dependem principalmente do teor de argila da fração mineral e do grau de decomposição do material orgânico. A minoria dos *Histosols* é de drenagem livre, podendo nunca apresentar saturação por água ou por poucos dias; e o teor C orgânico é  $\geq 20\%$  (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 65, 211).

O **material orgânico** de drenagem livre nunca é saturado por água por mais que uns poucos dias, e o teor de C orgânico é  $\geq 20\%$  (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 25).

O **Histosol** de drenagem livre é definido pelas características a seguir:

- a) não tem propriedades ândicas em 60% ou mais da espessura entre a superfície do solo e a profundidade de 60 cm, ou contato lítico ou litóide ou duripan se mais raso, e;
- b) tem material orgânico que reúne um ou mais dos seguintes requisitos:



- repousa sobre material de *cindery*<sup>3</sup>, fragmentar ou púmice<sup>3</sup> e/ou preenche seus interstícios<sup>4</sup>, e diretamente abaixo desse material tem contato lítico ou litóide, ou;
- quando somado com material subjacente de *cindery*, fragmentar ou púmice, totalizam 40 cm ou mais entre a superfície do solo e a profundidade de 50 cm, ou;
- constitui 2/3 ou mais da espessura total do solo até o contato lítico ou litóide; e o solo mineral que, se presente, tem espessura total  $\leq 10$  cm (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 41).

As **subordens** dos *Histosols* subdividem-se nas seguintes classes: **Folists**, **Fibrists**, **Hemists** e **Saprists**; o nome das classes é formado pelo prefixo distintivo mais o elemento formativo (ist) da ordem (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 151).

No geral, as subordens dos *Histosols* são definidas pelo regime hídrico do solo e pelo grau de decomposição do material orgânico. A característica distintiva dos *Folists* é nunca serem saturados por água por mais que poucos dias, enquanto as demais subordens apresentam condições de saturação por  $\geq 6$  meses. As subordens *Fibrists*, *Hemists* e *Saprists* distinguem-se pelo grau de decomposição do seu material orgânico no *tier* (seção arbitrada) de subsuperfície, que é, respectivamente, muito pouco, medianamente e muito decomposto (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 211).

Os *Folists* são *Histosols* de drenagem livre constituídos fundamentalmente de *litter* de folhas, galhos finos, ramos e brotos em vários estágios de decomposição, desde folhas frescas até material completamente humificado. Repousam sobre a rocha ou material fragmentar

---

<sup>3</sup> *Cindery* e púmice: são termos modificadores que substituem o nome da classe do tamanho da partícula, quando o material é derivado de ejetos vulcânicos e/ou apresenta sesquióxidos e matéria orgânica; apresentam  $< 10\%$  do volume total da terra fina. p. 30.

<sup>4</sup> Material que têm definição de *cindery*, fragmentos ou púmice, exceto quando têm mais que 10% (por volume) dos vazios preenchidos com material orgânico, daí são considerados material orgânico. p. 41

(cascalho, calhaus e matações), cujos interstícios são preenchidos parcial ou totalmente com material orgânico. As raízes das plantas crescem somente no material orgânico. Esses solos são na maioria das vezes de clima muito úmido dos trópicos até elevadas latitudes, e raramente têm teor de umidade abaixo da capacidade de campo. Nos USA, localizam-se principalmente no Havaí e no Alasca. Todos os *Folists* típicos têm material fragmentar no material orgânico ou abaixo deste ou em ambos, e foram considerados, *Lithosols* na classificação de 1938 (ESTADOS UNIDOS, 1975, p. 217-218).

Os **Folists** são *Histosols* que nunca são saturados por água exceto por poucos dias seguidos de fortes chuvas, e que têm ambos os requisitos:

- a) um contato lítico ou litóide dentro de 100 cm da superfície do solo, e/ou uma espessura de material orgânico mais *cindery*, fragmentos, ou púmice que totalizam 40 cm ou mais entre a superfície do solo e a profundidade de 50 cm, e;
- b) o material orgânico, que é, por média de peso,  $< 3/4$  (por volume) de fibras de *sphagnum* (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 151).

A nível categórico de **Grande Grupo**, os *Folists* apresentam as seguintes classes: **Cryofolists**, **Tropofolists**, **Borofolists** e **Medifolists**. A distinção primária das classes baseia-se no regime de temperatura do solo. Os prefixos, juntamente com a subordem, compõem o nome da classe que designa o grande grupo (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 155).

Os *Tropofolists* são os *Folists* que têm regime de temperatura isomésico, com média anual  $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , mas  $< 15^{\circ}\text{C}$ ; a diferença entre média da temperatura do solos nos meses de inverno e nos meses de verão é  $< 5^{\circ}\text{C}$ . Os **Medifolists** são definidos como outros *Folists* (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 22, 155).

## 2.4 MINERALOGIA

### 2.4.1 GIBBSITA (Gb)

Existem três polimorfos cristalinos dos hidróxidos de Al  $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ , que diferem no empilhamento da unidade básica, a saber: gibbsita (placa hexagonal), bayerita (pirâmide triangular) e nordstrandita (placa retangular). Entre os três polimorfos, somente a gibbsita é comum em solos e depósitos bauxíticos, constituindo-se em um dos principais minerais de muitos *Oxisols* e ocorre geralmente em áreas de altitudes tropicais ou subtropicais úmidas (HSU, 1989, p. 332-335, 358).

Os hidróxidos de Al tendem a crescer extensivamente nas direções X e Y, com limitado crescimento na direção Z, o que é atribuído à forte ligação (Al-OH-Al) na unidade  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e à relativa debilidade da ligação H entre as camadas. Como resultado, uma gibbsita bem cristalizada freqüentemente se apresenta como placa hexagonal, ainda que o hábito de crescimento do cristal possa variar com o ambiente (HSU, 1989, p. 332, 334).

Muitos ânions podem interferir na cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , sendo a intensidade dessa interferência governada pela soma e intensidade dos seguintes fatores: competição dos ânions por Al; constante estabilidade ânion-Al; tamanho iônico e estrutura dos ânions; concentração dos ânions (lei da ação de massas); pH da solução. No geral, a cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  pode ser completamente inibida sob condições mais severas, isto é, de alta concentração de ânions com forte poder de complexar Al e baixo pH da solução (HSU, 1989, p. 354).

Muitos ácidos orgânicos em solos podem complexar Al, sendo provavelmente mais efetivos em governar a cristalização dos hidróxidos de Al do que qualquer componente inorgânico (HSU, 1977, p. 122).

KWONG e HUANG (1975, p. 165) mostraram que a cristalização dos hidróxidos de Al é intensamente inibida ou retardada em presença de ácido cítrico.

Os efeitos dos ânions orgânicos sobre a cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  segue mecanismos similares aos dos ânions inorgânicos, sendo, porém, mais complexos, pois os ânions orgânicos nos solos são diversos em peso molecular, estrutura e grupo funcional; e esses efeitos variam com o pH (HSU, 1989, p. 355).

O tipo de ácido orgânico, a sua concentração, o seu peso molecular e a sua constante de estabilidade com o Al determinam a intensidade dos impedimento à hidrólise, subsequente precipitação e cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . A cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , a constante de estabilidade (ácido orgânico-Al) e o peso molecular diminuem na seguinte ordem nos ácidos orgânicos: cítrico > málico > tanínico > aspártico > *p*-hidrobenzóico (KWONG e HUANG, 1979, p. 337, 340).

Os hidróxidos de Al de alta cristalinidade podem ser identificados e determinados sem muita dificuldade com a DRX (Difração por raios-X) e a ATD (Análise térmica diferencial). No entanto, por a técnica da DRX apresentar baixa sensibilidade (HSU, 1989, p. 338, 340), a gibbsita somente é detectada quando seu teor é > 50 g/kg (JACKSON, 1969<sup>5</sup> citado por HSU, 1989, p. 340); além disso, depende dos seguintes fatores: tamanho do cristal, cristalinidade, impureza, composição química e presença de compostos não cristalinos. Ao contrário, a maior vantagem da ATD é a sua sensibilidade (HSU, 1989, p. 340), podendo detectar a presença da gibbsita de forma inconfundível até 10 g/kg (JACKSON, 1969<sup>5</sup> citado por HSU, 1989, p. 340).

Os silicatos de Al primários das rochas ígneas, por serem produtos de alta temperatura, não são estáveis no ambiente atual. O passo inicial do intemperismo provavelmente é a quebra

---

<sup>5</sup> JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis-advanced course**. 2nd. ed. Madison : Univ. Wisconsin, 1969.

hidrolítica da ligação Si-O-Al dos minerais primários com a liberação de Al para a solução do solo (HSU, 1989, p. 359, 347).

Tem sido relatado que a proporção entre a caulinita e a gibbsita é, com frequência, inversamente relacionada. A gibbsita é mineral dominante em solos altamente intemperizados e em bauxitas, enquanto a caulinita é dominante em solos menos intemperizados (HSU, 1989, p. 359).

HARRISON (1934)<sup>6</sup>, citado por HSU (1989, p. 360), encontrou em clima tropical úmido rocha básica ou intermediária que intemperizava diretamente para gibbsita, enquanto a rocha ácida intemperizava através da caulinita para gibbsita. SHERMAN (1949)<sup>7</sup>, citado por HSU (1989, p. 361), sugeriu que a duração da estação úmida e o total da precipitação governam atualmente o desenvolvimento da gibbsita.

#### 2.4.2 CAULINITA (Ka) E HALOISITA (Ha)

A caulinita e haloisita são aluminossilicatos que apresentam estrutura 1:1 da camada. A caulinita é um dos minerais de argila mais amplamente distribuídos nos solos, por ser parcialmente originada de muitos minerais diferentes. A caulinita e a haloisita são produtos do intemperismo ácido, mas a haloisita forma-se mais rapidamente em solos jovens de origem vulcânica. A caulinita ocorre especialmente em clima quente e úmido, mas também aparece em climas frios. A haloisita apresenta frequentemente forma tubular, em contraste com a morfologia de placa hexagonal da caulinita (DIXON, 1989, p. 467, 486, 477).

---

<sup>6</sup> HARRISON, J.B. **The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions.** Harpenden : Imperial bureau of Soil Sci., Rothamsted Exp. Stn., 1934.

<sup>7</sup> SHERMAN, G.D. Factors influencing the development of laterite and lateritic soils in the Hawaiian Islands. **Pac. Sci.** v. 3, p. 307-314, 1949.

A haloisita tem sido encontrada principalmente em dois ambientes pedogenéticos: em solos derivados de cinza vulcânica e nas partes baixas de perfis, incluindo saprolitos, de rochas graníticas muito intemperizadas (ALLEN e HAJEK, 1989, p. 236).

Segundo ALLEN e HAJEK (1989, p. 236), o precursor da haloisita em solos de cinza vulcânica é a alofana, enquanto em solos desenvolvidos de granito e outras rochas cristalinas é o feldspato (ESWARAN e WONG, 1978, p. 154).

#### 2.4.3 VERMICULITA COM HIDROXI-AL ENTRECAMADAS (VHE)

Vermiculita (ou esmectita) hidroxi-Al entrecamadas (VHE ou EHE) é a terminologia (sugerida como padrão) mais comumente usada para designar minerais 2:1 com polímeros de hidroxi-Al entrecamadas (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 746).

A VHE tem ampla distribuição geográfica e é encontrada em várias ordens de solos (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 753).

A estrutura das camadas dos minerais com hidroxi-Al entrecamadas é variável, sendo principalmente dependente de três fatores (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 745):

- a) da estrutura básica da porção 2:1 do mineral;
- b) do grau de preenchimento entrecamadas, e;
- c) da composição química da hidroxi-Al entrecamadas.

O material entrecamadas (polímeros de hidroxi-Al) é significativamente modificado por propriedades físico-químicas dos solos minerais, resultando numa grande variabilidade nas VHE em função do ambiente de intemperismo e, sobretudo, da variação em relação ao grau de preenchimento das entrecamadas e da estabilidade relativa dos componentes entrecamadas (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 730).

O grau de preenchimento das entrecamadas da VHE é estimado pela temperatura, no tratamento com K, requerida para obter o colapso (ou parcial) do pico 1,4 nm em direção a 1,0 nm e pela magnitude da mudança produzida no pico (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 747).

A VHE é suspeita de ocorrer em solos como produto de intemperismo da clorita ou, mais comumente, da deposição de material de hidróxi-Al dentro dos espaços entrecamadas dos silicatos expansíveis ou de limitada expansão (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 750).

A formação da VHE na maioria dos solos ácidos apresenta a seguinte sequência de intemperismo (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 750):

biotita ou muscovita  $\Rightarrow$  vermiculita  $\Rightarrow$  VHE

$\Downarrow$

esmectita  $\Rightarrow$  EHE.

Em sistemas de solos naturais em que a VHE estável é encontrada, tem sido sugerido freqüentemente, que esse mineral inibe a formação da gibbsita; fenômeno chamado de efeito antigibbsítico (JACKSON, 1963, p. 6).

#### 2.4.4 ÓXIDOS DE Fe

Os óxidos de Fe (óxidos, hidróxidos e oxidróxidos) são os óxidos metálicos mais abundantes na maioria dos solos de diferentes regiões climáticas (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 379).

O grau de cristalinidade é uma característica dos óxidos de Fe, variando amplamente entre diferentes solos e, em consequência, pode ser considerado indicador do pedoambiente. A cristalinidade dos óxidos de Fe determinada pela DRX é mais em função do tamanho dos cristais do que pela desordem dos cristais (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 382).

Mesmo em baixas concentrações, os óxidos de Fe têm alto poder de pigmentação e determinam a cor de muitos solos. A goethita ( $\alpha$ -FeOOH) é responsável pela coloração bruno-amarelada (entre 7,5 YR e 2,5 Y), enquanto a hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) refere-se a cor vermelha (5 YR e mais vermelho). A hematita tem maior poder de pigmentação, pois pequenas quantidades mascaram a cor amarela de altas concentrações da goethita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 379, 382, 387, 423).

A goethita é o óxido de Fe mais amplamente distribuído, ocorrendo em quase todos os tipos de solos e climas. Comumente é o único óxido de Fe pedogénico dos solos de zonas frias e temperadas, enquanto em regiões tropicais e subtropicais a goethita está mais frequentemente associada à hematita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 382, 398).

O Fe dos óxidos sofre substituição isomórfica principalmente pelo Al; a goethita apresenta um grau de substituição maior do que a hematita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 380,386). O pedoambiente altamente intemperizado de regiões tropicais e subtropicais apresenta maior substituição do que solo fracamente ácido (BIGHAM *et al.*, 1978, p. 820).

Os fatores do pedoambiente que influenciam a associação hematita e goethita são os seguintes: a valência e a concentração do Fe, o pH, a temperatura, a atividade da água e do Al, o teor de matéria orgânica e o ambiente iônico. Em suma, baixa temperatura, elevada atividade da água e alto teor de matéria orgânica favorecem a presença de goethita e podem ser os responsáveis pela ausência da hematita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 398). Numa climosequência no RS, KÄMPF e SCHWERTMANN (1983, p. 27), encontraram que a relação goethita:hematita aumenta com a diminuição da temperatura média do ar, com o aumento do excedente hídrico, com o aumento do teor de C orgânico e com a diminuição do pH.



Solos mais úmidos e mais frios são freqüentemente mais ricos em matéria orgânica, a qual tem efeito direto no tipo de óxido de Fe formado. A formação da goethita é favorecida em horizontes ricos em matéria orgânica do que à hematita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 400).

A elevada concentração de ácido orgânico, tal como o citrato, é efetiva em inibir a transformação da ferridrita ( $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) (mal cristalizada) em óxido bem cristalizado (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1977, p. 162). A ferridrita está sempre associada à matéria orgânica (OADES, 1989, p. 148). Isto pode estabilizá-la, impedindo a sua transformação em hematita (SCHWERTMANN *et al.*, 1986<sup>8</sup> citados por OADES, 1989, p. 148).

A magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) é de origem litogenética, ocorre na forma de grãos de cor preta na fração dos minerais pesados (areia) e apresenta atração ao magneto (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 391, 425).

O Fe está presente na maioria das rochas da crosta terrestre e em muitas delas é predominante. Na maioria das rochas magmáticas o Fe está principalmente ligado aos silicatos na forma divalente. A liberação do Fe dos silicatos realiza-se através da protólise e oxidação, depois do que o  $\text{Fe}^{+3}$  se hidrolisa em contato com a água, formando os óxidos (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989, p. 395).

---

<sup>8</sup> SCHWERTMANN, U.; KODAMA, H.; FISCHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: HUANG P.M.; SCHNITZER M. **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison : SSSA, 1986. p. 223-250.

### 3 MEIO FÍSICO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

Os Perfis 1, 2, 3 e 4 (Figura 1a) estão localizados entre as coordenadas geográficas de Latitude Sul  $25^{\circ} 45' 00''$  a  $25^{\circ} 40' 00''$  e Longitude  $49^{\circ} 00' 00''$  a  $49^{\circ} 07' 30''$  a Oeste de Greenwich. Situam-se na Vila Miringuava, à porção Sudeste de São José dos Pinhais, na parte Sul da região fisiográfica da Serra do Mar, a cerca de 35 km (do SCA-UFPR) a Sudeste de Curitiba, no Estado do Paraná. O acesso à área é realizado pela BR 376, seguindo à esquerda por uma estrada secundária na altura do primeiro posto da polícia rodoviária no km 653. Da BR até o último perfil a distância é de aproximadamente 15 km.



FIGURA 1a - LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS

A Serra do Mar situa-se entre o Litoral e o Primeiro Planalto do Paraná, e está abaixo do Trópico de Capricórnio, que corta o Estado na sua porção Setentrional.

### 3.2 CLIMA

A ocorrência das precipitações está condicionada pelos fatores estáticos e dinâmicos. Os fatores estáticos são a posição e a topografia da Serra do Mar-PR. A posição geográfica em latitudes medianas na borda Oriental do continente Sul americano, especificamente na borda Ocidental do oceano Atlântico expõe a área ao fluxo de ar frio do pólo Sul, assegurando-lhe maior frequência de invasão de frentes frias e de linhas de instabilidade tropical, uma vez que está sob a trajetória preferida por tais correntes perturbadoras. O caráter acidentado da topografia favorece as precipitações, porque atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, provocada pelo obstáculo montanhoso, principalmente durante a passagem das correntes perturbadoras. Entre os fatores dinâmicos responsáveis pelas precipitações, destacam-se as correntes perturbadoras: a frente polar e a linha de instabilidade tropical (NIMER, 1989a, p. 81-94).

As frentes frias que se formam ao longo da costa Sul do Brasil podem apresentar as mais variadas formas. Quando a frente fria esbarra na Serra do Mar, que se antepõe ao seu movimento, estaciona, e o ar frio é aprisionado em sua marcha para o Norte, fazendo com que as condições de mau tempo perdurem. Esse fenômeno de estacionamento das frentes frias é bastante freqüente na Serra do Mar: a região é então envolvida por nevoeiro ou submetida às chuvas próprias das frentes frias, proporcionando acentuada nebulosidade e elevada umidade atmosférica (SANTOS, 1965<sup>9</sup> citado por BIGARELLA, 1978b, p. 43).

---

<sup>9</sup> SANTOS, E.O. Características climáticas. In: AZEVEDO, A. de. **A baixada santista, aspectos geográficos**. São Paulo, v. 1, p. 95-150. 1965.

No Estado do Paraná, a região fisiográfica da Serra do Mar é a que registra as maiores precipitações pluviométricas. Devido a ausência de estação pluviométrica na região, são utilizadas as observações de Bracinho-SC, região análoga divisa com o Estado do Paraná. A precipitação média anual é 3.469,6 mm, sendo o semestre de verão mais chuvoso com 2.153,4 mm que o de inverno com 1.316,2 mm. Esses dados dão uma idéia segura das condições pluviométricas da região, pois totalizam um período de 18 anos (1932-1949) de observações (MAACK, 1968, p. 152, 154). Na estação Veu da Noiva (atualmente desativada) na Serra do Mar, na estrada de ferro Curitiba-Paranaguá, foi verificada em 1942 a precipitação média de 3.728 mm (BIGARELLA, 1978b, p. 44).

A temperatura anual na zona temperada está estreitamente condicionada à latitude, à maritimidade (variação térmica anual menor) e, sobretudo, ao relevo. Portanto, o relevo da Serra do Mar, além de determinar em parte o regime pluviométrico, também influencia a temperatura (NIMER, 1989b, p. 227).

Considerando o ar saturado de vapor d'água, a cada 100 m de altitude a temperatura do ar diminui 0,5°C (MAACK, 1968, p. 98). SANTOS (1979, p. 59) também encontrou na Serra do Mar-RJ os mesmos valores, através de cálculo de regressão, utilizando como variável independente a altitude e dependente a temperatura.

MAACK (1968, p. 98) calculou as temperaturas médias anuais nas maiores elevações da Serra do Mar-PR e concluiu que a totalidade da região apresenta temperatura média anual < 14°C, a saber: o pico do Paraná (1.922 m) com temperatura de 11,5°C; a serra do Capivari Grande (1.640 a 1.676 m) com 12,5°C; o pico Marumbi (1.547 m), com 13,5°C; e a serra da Graciosa (1.472 m) com 13,7°C.

A isoterma anual de 14°C no Estado do Paraná só é encontrada nos picos da Serra do Mar, acima de 1.300 m (NIMER, 1989b, p. 227).

Apesar de não existirem estudos suficientes para uma classificação climática da região, principalmente nas maiores elevações, devido ao difícil acesso, observa-se que, segundo a carta climática do Estado do Paraná (GODOY e CORREIA, 1978, p. 33), a região está inserida no tipo climático Cfa da classificação de Köppen. No entanto, pode-se prever, para a região, a ocorrência, do tipo climático Cfb, de acordo com os dados de temperatura supracitados.

As descrições das designações climáticas:

- a) C- clima mesotérmico úmido, cuja temperatura média do mês mais frio está entre 18°C e 3°C;
- b) f- precipitação em todos os meses do ano;
- c) a- temperatura média do mês mais quente é  $> 22^{\circ}\text{C}$  (verão quente);
- d) b- temperatura média do mês mais quente é  $< 22^{\circ}\text{C}$  (verão ameno).

### 3.3 VEGETAÇÃO

De acordo com VELOSO *et al.* (1991, p. 63), que se baseiam na classificação da vegetação adaptada a um sistema universal denominado Sistema Fisionômico-Ecológico, existem duas unidades ambientais, distinguidas através de parâmetros altimétricos: os Refúgios ecológicos (campos de altitude ou rupestres), que são associações vegetais geralmente herbáceo-graminóides, raramente arbustivas, entremeadas por Afloramentos de Rocha, que estão geralmente associados aos Solos Litólicos, ocorrem em altitudes superiores a 1.200 metros a.n.m; e a Floresta ombrófila densa, subdividida de acordo com as variações ecotípicas das faixas altimétricas, a saber:

- a) Floresta ombrófila densa submontana: situa-se na faixa altimétrica de 30 a 400 m;
- b) Floresta ombrófila densa montana: situa-se na faixa altimétrica de 400 a 1.000 m;

- c) Floresta ombrófila densa alto-montana: situa-se na faixa altimétrica acima de 1.000 a 1.200 m.

O Perfil 1 está sob o ecótipo vegetal, Floresta ombrófila mista montana; e os Perfis 2, 3 e 4 estão sob Floresta ombrófila densa alto-montana.

De acordo com a classificação da vegetação utilizada em levantamentos pedológicos (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 19), predomina nos Perfis 2, 3 e 4, o tipo Floresta subtropical perúmida altimontana; e no Perfil 1, a Floresta subtropical perenifólia.

### 3.4 GEOLOGIA

Em que pese, não se ter alcançado a rocha no Perfil 1, pode-se predizer, que o solo é desenvolvido do migmatito do Pré-Cambriano, conforme sobreposição das fotografias aéreas com o mapa geológico (CASTRO, 1993) e pela demarcação das coordenadas geográficas.

Entretanto, a maior parte da área de estudo está inserida na formação Guaratubinha, que é constituída por três seqüências litológicas bem distintas: rochas sedimentares, principalmente conglomerados, arcósios, siltitos e argilitos; rochas vulcânicas ácidas: tufitos e riólitos; e rochas vulcânicas intermediárias: andesitos (FUCK *et al.*, 1967, p. 238). A idade da formação Guaratubinha não foi estabelecida, podendo-se somente inferir que é posterior aos granitos e migmatitos Pré-Cambrianos ( $\pm$  4,5 b.a.-570 m.a.), e anterior aos diques de diabásio Jurássicos-Cretáceos ( $\pm$  190-135 m.a.) pelos quais é seccionada em rumo Noroeste-Sudeste (FUCK *et al.*, 1967, p. 254).

Os Perfis 2, 3 e 4 jazem sobre a seqüência vulcânica ácida dos riólitos da formação Guaratubinha, que repousa em discordância angular sobre migmatitos e granitos. O corpo principal de rochas vulcânicas riolíticas ocorre a aproximadamente 11 km em linha reta, a Leste

e Sudeste de Campo Largo da Roseira-PR, cobrindo uma área aproximada de 55 km<sup>2</sup> (FUCK *et al.*, 1967, p. 246).

A seqüência riolítica é localmente conhecida através de várias designações, a seguir: morro do Escutador (1.232 m), serra do Salto (1.338 m), serra Ponta do Campo (1.171 m), serrinha da Quitéria (1.108 m). Esses corpos de rochas riolíticas sustentam as maiores elevações locais (FUCK *et al.*, 1967, p. 246).

Os riólitos são rochas ígneas formadas pela solidificação do magma e chegam à superfície por condutos vulcânicos ou em falhas. Apresentam um resfriamento rápido por isso têm textura fina, pois os minerais não têm tempo de crescer. Os riólitos são classificados como rochas ácidas, de acordo com a sua composição química: o teor de sílica é superior a 65%. São rochas leucocráticas: ricas em minerais essenciais claros, como quartzo e feldspato. O riólito é o equivalente extrusivo do granito ( $\cong$  75% de sílica), por apresentar composição química semelhante a esse (LEINZ e AMARAL, 1989a, p. 43, 45).

Os riólitos apresentam geralmente cor avermelhada, variando entre o róseo e vermelho-tijolo. As colorações castanho-escuras e castanho-avermelhadas são igualmente comuns. A hematita é responsável pela coloração avermelhada e a goethita, pelos tons castanhos. Texturalmente, há uma gama de variações nos riólitos, são geralmente porfiríticos, com numerosos fenocristais, geralmente de quartzo e feldspato potássico, imersos em massa afanítica. A massa afanítica é constituída fundamentalmente de quartzo e feldspato, também podem aparecer minerais secundários: clorita, sericita, além de calcita, hematita e goethita. Os minerais acessórios mais comuns nos riólitos são os opacos oxidados, além do zircão (FUCK *et al.*, 1967, p. 247-248).

As rochas ácidas apresentam altos teores de sílica, e em consequência, baixa fluidez e alta viscosidade, e por isso, têm a tendência de não atingir grandes extensões contínuas, podendo, muitas vezes, acumular-se nos condutos ocasionando explosões (LEINZ e

AMARAL, 1989b, p. 267). O vulcanismo remoto riolítico, ocorrido possivelmente no Eopaleozóico ( $\pm 570$  m.a.) em numerosos lugares do Brasil, parece ser contemporâneo, e ocorreu principalmente sob a forma de lençóis de lavas riolíticas avermelhadas, quase horizontais em alternância com tufos consolidados. Sua importância geográfica deve ser muito grande, pois seus vestígios, ocorrem desde o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, até a serra da Roraima no extremo Norte (LEINZ e AMARAL, 1989b, p. 290-291).

A idade da formação Guaratubinha é ainda desconhecida, entretanto, a sua identidade litológica e estrutural, a par de considerações tectônicas e estratigráficas regionais, sugere a correlação com os grupos Eopaleozóicos Castro e Itajaí, que ocorrem, respectivamente, no Paraná e Santa Catarina, apesar de haver uma distância relativamente grande (mais de 125 km) separando essas regiões. Essa provável contemporaneidade indica que o vulcanismo ácido atingiu extensas áreas na Serra do Mar (FUCK *et al.*, 1967, p. 238).

CASTRO (1993, p. 92) encontrou similaridade entre os padrões de elementos químicos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, e outros) presentes nas rochas vulcânicas das formações Guaratubinha e Castro. Mas, reconhece o número reduzido de amostras analisadas e a necessidade de análises complementares dos isótopos de Pb e Sr para uma caracterização mais segura. Mesmo assim, faz predições da idade da formação em apreço, em torno de 450-400 m.a.

Nas tabelas a seguir, estão os dados da análise mineralógica microscópica (lâmina delgada), e da análise química (geoquímica) de três amostras (Gua-1-A, Gua-1-B e Gua-2-A) do riólito da formação Guaratubinha, adaptados de CASTRO [1993, p. 85, 7-9 (anexos)]:



TABELA 1 - ANÁLISE MINERALÓGICA DO RIÓLITO DA FORMAÇÃO GUARATUBINHÁ

AMOSTRAS / % MINERAIS	Gua-1-A	Gua-1-B	Gua-2-A
K-Feldspato* <sup>1</sup>	35-48	35-40	36-40
Quartzo	30-35	33-38	30-35
Plagioclásio* <sup>2</sup>	10-15	15-20	20-24
Opacos	1	1	1
Hornblenda	1	1	-
Clorita-Fe	traços	traços	traços
Epídoto	-	traços	traços
Biotita	traços	-	-
Zircão	-	traços	-
Titanita	-	traços	-
Anfibólio	-	-	traços

TABELA 2 - ANÁLISE QUÍMICA DO RIÓLITO DA FORMAÇÃO GUARATUBINHÁ

AMOSTRAS / % ÓXIDOS	Gua-1-A	Gua-1-B	Gua-2-A
SiO <sub>2</sub>	74,60	74,30	74,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,60	12,40	12,50
K <sub>2</sub> O	5,10	6,00	4,50
Na <sub>2</sub> O	3,70	3,20	4,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,20	1,40	1,40
FeO	0,78	0,71	0,78
CaO	0,75	0,69	0,97
MgO	0,17	0,17	0,16
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,11	0,14
MnO	0,03	0,04	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-

FONTE: Adaptadas de CASTRO [1993, p. 85, 7-9 (anexos)]:

NOTA: K-Feldspato\*<sup>1</sup>- ortoclásio; Plagioclásio\*<sup>2</sup>- albíta-oligoclásio

A textura das amostras do riólito supraditas é inequigranular porfirítica: contém fenocristais de K-feldspato e quartzo em meio a uma matriz afanítica com quartzo+K-feldspato.

### 3.5 GEOMORFOLOGIA

A Serra do Mar encerra-se entre os domínios morfoclimáticos ou paisagísticos regionais estabelecidos por AB'SÁBER (1970, p. 2-3); AB'SÁBER, (1977, p. 4, 6, 12), isto é, o domínio dos “mares de morros” florestados. Os domínios morfoclimáticos dependem da interação local dos processos morfoclimáticos e morfoestruturais. Os processos morfoclimáticos são determinados através da sobreposição do relevo, vegetação, solos, condições hidrológicas e paisagem. Enquanto os processos morfoestruturais são derivados de estudos litológicos, topográficos e tectônicos. A interação da assembléia das feições morfoclimáticas com os fatores morfoestruturais determina o padrão da paisagem ou o domínio morfoclimático.

A Serra do Mar constitui um sistema montanhoso que se estende desde o Espírito Santo até o Sul de Santa Catarina; é uma zona limítrofe entre o Litoral e o Primeiro Planalto do

Paraná. A Serra do Mar paranaense possui um conjunto de montanhas em blocos, escarpas e restos de planaltos profundamente dissecados, cuja configuração generalizada é a de um grande arco com a concavidade voltada para o Leste, subparalela à linha de costa, sendo esse lado mais escarpado do que o continental (BIGARELLA, 1978c, p. 69).

A paisagem típica atual é atribuída à interação de três fatores: as diferenças litológicas, a tectônica rígida e principalmente a morfo-climatologia. O condicionante da evolução da paisagem as condições climáticas não exclui o efeito dos movimentos tectônicos ou eustáticos, porém lhe confere apenas importância secundária (BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 101). As profundas alternâncias climáticas de caráter cíclico do Quaternário afetaram, ao que tudo indica, todo o globo terrestre, explicando assim a evolução geomorfológica da paisagem Oriental do País. As condições de rigor climático pretérito (semi-árido), permitiram a formação quase que universal das superfícies aplainadas: os pediplanos e pedimentos; e de seus depósitos correlativos característicos (BIGARELLA e MOUSINHO, 1965a, p. 15).

Durante o Pleistoceno, o conjunto das formas de relevo conferiu a paisagem um aspecto policíclico, ligado essencialmente às alternâncias climáticas entre o semi-árido e o úmido. As condições de clima semi-árido (glaciação no Hemisfério Norte-HN) atuaram pelo menos três vezes e teriam gerado três diferentes níveis: as grandes superfícies aplainadas (pediplano-  $Pd_1$  ou pedimento-  $P_3$ ) e níveis embutidos nos vales (pedimentos-  $P_1$  e  $P_2$ ), através do processo da morfogênese mecânica que promoveu a degradação lateral e o recuo paralelo das encostas. Portanto os processos de pediplanação e pedimentação elaborados em clima semi-árido foram os responsáveis pela maior parte das superfícies aplainadas existentes no modelado atual. Enquanto, no clima úmido (interglaciação no HN) a ocorrência da alteração química desenvolveu um espesso manto de decomposição (com mais de 15 m na Serra do Mar), sobre o qual a floresta vicejou e onde a erosão linear provocou a dissecação do relevo. No período de transição de um clima para outro, a ação erosiva era muito efetiva, produzindo grandes

movimentos de massa (BIGARELLA e MOUSINHO, 1965b, p. 32, 33, 39; BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 96, 101, 107-109; MOUSINHO e BIGARELLA, 1965, p. 53; BIGARELLA *et al.*, 1965b, p. 119).

Na transição do clima úmido para o semi-árido, a floresta regrediu ou até desapareceu, sendo substituída por uma cobertura vegetal menos densa. Sob essas condições, os solos ficaram desprotegidos contra uma erosão mais intensa, aliada a um regime de chuvas concentradas em períodos curtos, que removeram o regolito das encostas às depressões do terreno por movimentos de massa (solifluxão), expondo assim a rocha a novos processos de meteorização. No clima semi-árido a parte superior das vertentes ficou exposta a morfogênese mecânica, que promoveu a sua degradação lateral, dando início ao recuo das encostas paralelas a si mesmas, formando uma superfície aplainada (pedimento rochoso e detrítico), fracamente inclinada em direção ao centro do vale ou da depressão intermontana (AB'SÁBER e BIGARELLA, 1961, p. 98,103,108; BIGARELLA e SALAMUNI, 1961, p. 182; BIGARELLA e MOUSINHO, 1965b, p. 32-33; BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 112; BIGARELLA *et al.*, 1965b p. 125).

O fim da última transição do clima semi-árido para o clima úmido atual, ocorreu há cerca 2.400 anos, a partir daí terminou a última fase de solifluxão generalizada (MOUSINHO e BIGARELLA, 1965, p. 57).

No passado o fenômeno de solifluxão foi muito expressivo, enquanto hoje se restringe a movimentos muito lentos em vertentes mais íngremes, detectados pela inclinação (reptação) dos troncos das árvores. Os vestígios da solifluxão refletem-se na paisagem sob a aparência de cicatrizes, sulcos ou amplos ravinamentos formando berços (MOUSINHO e BIGARELLA, 1965, p. 54, 55; BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 114).

A interpretação conjunta das características da textura, estrutura, mineralogia e especialmente da estratigrafia dos depósitos correlativos das diferentes fases de pediplanação e

pedimentação possibilitou interpretar as condições ambientais e os processos morfogenéticos envolvidos na sua formação, isto é, correlacionar com segurança níveis de remanescentes com os sedimentos que constituem seus depósitos correlativos originados por aplainamento (BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 103, 110).

No Brasil, são referidas diversas formações como depósitos correlativos dos pediplanos e pedimentos. Os depósitos correlativos do pediplano Pd<sub>1</sub> no Primeiro Planalto do Paraná são representados pela formação Guabirotuba, na bacia sedimentar de Curitiba (BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 110; ROCHA, 1981, p. 1).

A maioria das ombreiras (rupturas de declive) encontradas na topografia atual como remanescentes nas vertentes são na verdade relictos dos pedimentos (BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 112).

Os pedimentos ter-se-iam desenvolvido em épocas em que o nível do mar se encontrava bem abaixo do atual, durante as regressões glácio-eustáticas, como mostram os depósitos correlativos litorâneos. Foram denominados pedimentos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, em ordem crescente de antiguidade durante o Pleistoceno (1-1,5 m.a.). O pedimento P<sub>3</sub> foi relacionado à glaciação do Nebraskan, o P<sub>2</sub> do Kansan e o P<sub>1</sub> ao Illinoian. O pedimento P<sub>3</sub> constitui um aplainamento mais generalizado, que resulta, na realidade, de uma coalescência de pedimentos, identificando-se com o pediplano Pd<sub>1</sub> (BIGARELLA *et al.*, 1965a, p. 110; BIGARELLA *et al.*, 1965b, p. 126, 129, 141).

Os pediplanos mais antigos são geralmente testemunhados por remanescentes dispersos e preservados em rochas mais resistentes ao intemperismo, normalmente se encontram bastante dissecados. Os pediplanos Pd<sub>1</sub>, Pd<sub>2</sub> e Pd<sub>3</sub> podem ser reconhecidos em superfícies residuais do Nordeste, Leste e Sul do Brasil, e pelos seus respectivos depósitos correlativos. Apesar de não apresentarem continuidade no espaço, seus remanescentes podem ser observados desde o Rio Grande do Sul até o Amazonas. O pediplano Pd<sub>1</sub> recebeu diversos nomes locais nas regiões

onde seus remanescentes foram mais estudados: superfícies das Chãs e Tabuleiros em Pernambuco; Neógena em São Paulo; Curitiba no Paraná; Campanha no Rio Grande do Sul; e Montevideu no Uruguai (BIGARELLA *et al.*, 1965b, p. 127, 129).

O mais antigo pediplano Pd<sub>3</sub>, considerado como elaborado no Cretáceo-Eoceno ( $\pm 135-55$  m.a.), se encontra preservado em alguns locais, como superfície cimeira dos velhos planaltos paranaenses, possuindo relictos retrabalhados em alguns maciços elevados do reverso continental da Serra do Mar e na Superfície do Purunã, no Paraná. Enquanto, o pediplano Pd<sub>2</sub>, supostamente elaborado no Terciário médio ( $\pm 35$  m.a.), raramente representa superfície cimeira, sendo geralmente intermontano, constituindo grandes e velhos alvéolos dissecados. O mais recente, o pediplano Pd<sub>1</sub>, elaborado no Pleistoceno ( $\pm 1,5$  m.a.), se forma no interior de depressões interplanálticas, inclinando-se ligeiramente para jusante das principais calhas de drenagem, e na zona costeira se inclina suavemente na direção do oceano. Os desníveis dos pediplanos foram provocados por epirogênese positiva e pela erosão linear (BIGARELLA e MOUSINHO, 1965b, p. 22; BIGARELLA *et al.*, 1965b, p. 128-129, 131, 140, 141).

### 3.6 SOLOS

Conforme, levantamento elaborado pela EMBRAPA (1984, p. 116-117) na escala 1:600.000, foram encontrados na região da Serra do Mar os seguintes solos: Latossolo Vermelho-Amarelo com horizonte A proeminente; Associação de Afloramentos de Rocha com Solos Litólicos com horizonte A proeminente; e Cambissolo com A moderado. Mas, foi descrito, próximo à região, um único perfil classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, na estrada Curitiba-Joinville, em São José dos Pinhais-PR, no Primeiro Planalto do Paraná, portanto fora da região da Serra do Mar.

No levantamento geomorfológico com ênfase em solos, na porção Sul de tombamento da Serra do Mar-área 6, as unidades de mapeamento apresentam: predominantemente Cambissolos (unidade simples e associações com Solos Litólicos), representando 72,6% da área total; e secundariamente Solos Litólicos (associações com Cambissolos e Afloramentos de Rocha), representando 27,4% da área total (ROCHA *et al.*, 1992, p. 15).

No pediplano Pd<sub>3</sub> predominam Solos Litólicos, com as seguintes proporções das associações: Solos Litólicos+Cambissolos com 60% e Solos Litólicos+Afloramentos de Rocha com 40%. No pediplano Pd<sub>2</sub> predominam Cambissolos (unidade simples e associações): Cambissolos com 34%; Cambissolos+Solos Litólicos com 37% e Solos Litólicos+Cambissolos com 29%. No pediplano Pd<sub>1</sub> predominam Cambissolos (unidade simples e associação): Cambissolos com 77% e Cambissolos+Solos Litólicos com 23% (ROCHA *et al.*, 1992, p. 15).

No pediplano Pd<sub>3</sub>, os Solos Litólicos apresentam como horizonte diagnóstico superficial predominante, o turfoso e secundariamente turfoso seguido de A húmico; e os Cambissolos apresentam turfoso seguido de A húmico. No pediplano Pd<sub>2</sub>, os Cambissolos apresentam A moderado e os Solos Litólicos A húmico. Finalmente, no pediplano Pd<sub>1</sub>, os Cambissolos apresentam A moderado (ROCHA *et al.*, 1992, p. 31-50).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 MATERIAL**

#### **4.1.1 SOLOS**

Foram estudados 4 perfis de solos, cujos procedimentos de coleta foram realizados de acordo com LEMOS e SANTOS (1984).

Em todos os perfis foram abertas trincheiras; elas foram posicionadas a aproximadamente 30 m da estrada secundária, nos perfis 1 e 2. Em todos os locais de coleta havia a presença de vegetação nativa bem estabelecida, indicativa de área sem interferência.

No Perfil 1 a profundidade da trincheira foi de 2 m, não foi possível atingir a rocha; no Perfil 2 atingiu-se o horizonte C e nos Perfis 3 e 4 chegou-se até a rocha.

As amostragens foram planejadas conforme estudos preliminares, com base no seguinte material:

- a) carta topográfica de São José dos Pinhais-PR, na escala 1:50.000 (COMEC, 1985);
- b) mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná, na escala 1:600.000 (EMBRAPA, 1984);
- c) fotografias aéreas verticais pancromáticas (nº 49850 e nº 49851), na escala 1:25.000, realizadas pela Aerosul S.A. em 17/6/1980 para o ITCF, atual IAP;
- d) mapa geológico da formação Guaratubinha e litologias adjacentes, na escala 1:50.000 (CASTRO, 1993).

Utilizou-se, ainda, estereoscópio de bolso e de espelho, clinômetro, altímetro, trado holandês e martelo pedológico. Além disso, foi utilizado o Sistema de posicionamento global (GPS), da marca Trimble, para determinar as coordenadas geográficas de cada perfil.

#### 4.1.2 APARELHOS

A Difração por raios-X (DRX) para os argilominerais, óxidos de Al, frações areia grossa e areia fina e da rocha foi obtida com aparelho Philips, com tubo de Cu e filtro de Ni; a DRX para os óxidos de Fe, com aparelho Philips e tubo de Fe; a Análise térmica diferencial (ATD), com aparelho Rigaku, modelo CN 807882; as fotomicrografias das argilas, com microscópio eletrônico de transmissão da Philips, modelo EM 300; finalmente, as análises químicas: total, DCB (dicionito-citrato-bicarbonato de sódio), oxalato, pirofosfato e sulfúrico foram determinadas com o espectrômetro de absorção atômica Perkin Elmer, modelo AAS 403.

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 EDIÇÃO

A seguir estão listados os programas utilizados em computador:

- a) os dados foram processados pela planilha eletrônica *Excel* versão 5,0;
- b) o texto foi processado no editor *Word* versão 6,0 *for Windows* versão 3,1;
- c) os gráficos foram construídos com o *Harvard graphics* versão 3,0 e exportados para o *Word*;
- d) os difratogramas e termogramas foram copiados manualmente para uma escala



processada no *Harvard graphics* 3,0; depois o material foi copiado através de um *scanner*, utilizando-se, o *Adobe photoshop* versão 2,5; os ajustes finais foram realizados com o *Paintbrush* e a seguir exportados para *Word*.

#### 4.2.2 CLASSIFICAÇÃO

Os solos foram classificados de acordo CAMARGO *et al.* (1987), EMBRAPA (1988a), EMBRAPA (1988b); e com ESTADOS UNIDOS (1994).

#### 4.2.3 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A descrição morfológica dos perfis foi realizada conforme LEMOS e SANTOS (1984), e a identificação das cores do solo, de acordo com a carta de MUNSELL (1975).

#### 4.2.4 ANÁLISES FÍSICAS

##### 4.2.4.1 Preparo das amostras

As amostras foram destorroadas, secas ao ar e a seguir passadas em peneira de 2 mm (nº 10) para obtenção da TFSA (Terra fina seca ao ar); antes de cada análise as amostras foram secas na estufa a 105°C por um dia e a seguir levadas ao dessecador por 30 min e imediatamente pesadas. Os calhaus e cascalhos ficaram retidos na peneira de 2 mm e a seguir foram peneirados em tamis de 19,1 mm, pelo qual passaram os cascalhos, ficando retidos os calhaus. Os cascalhos e calhaus foram determinados pelo método gravimétrico e calculados de acordo com as expressões abaixo (EMBRAPA, 1979):

$$\% \text{ terra fina} = 100 - (\% \text{ calhaus} + \% \text{ cascalhos})$$

$$\% \text{ calhaus} = 100 (\text{peso dos calhaus} / \text{peso total da amostra})$$

$$\% \text{ cascalhos} = 100 [(\text{peso dos calhaus} + \text{peso dos cascalhos}) - \text{peso dos calhaus}] / \text{peso total da amostra}$$

Na análise do carbono via úmida, a terra fina foi moída e passada em tamis de 0,5 mm; e nas análises químicas: total, sulfúrico, DCB, oxalato e pirofosfato, a terra fina foi moída e passada em tamis de 0,2 mm; e para a análise total e DRX da rocha, efetuou-se a sua moagem e a passagem em tamis de 0,177 mm (nº 80).

#### 4.2.4.2 Análise granulométrica

A composição granulométrica descrita a seguir foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

Primeiramente realizou-se o pré-tratamento na terra fina para eliminação da matéria orgânica em banho-maria (70-75°C), com adições de 10 ml de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 30% (100 volumes) até o desaparecimento da reação; depois foi seca na estufa (60°C), destorroada e peneirada em tamis de 2 mm; e finalmente pesado 20 g.

A seguir adicionaram-se 10 ml de NaOH 1 N (agente dispersante) ao material, deixando-se em repouso por uma noite e agitou-se por 15 min em agitador elétrico. Esse material foi passado em peneira de 0,053 mm (nº 270), na qual ficou retida a areia total; o restante (silte e argila), que passou pela peneira, foi colocado em proveta de 1.000 ml; a seguir, procedeu-se à lavagem da areia até completar o volume.

O material da proveta foi agitado e submetido ao tempo de sedimentação calculado de acordo com a temperatura ambiente, segundo a lei de Stokes. Para a temperatura do ar de 26°C, o tempo de sedimentação foi 3 h e 28 min à profundidade de 5 cm. Repetiu-se o mesmo procedimento para a prova em branco.

Passado o tempo prescrito, pipetaram-se 50 ml da suspensão à profundidade de 5 cm, que foi seca na estufa, depois dessecada e pesada. A seguir calculou-se a fração argila. A fração silte foi calculada por diferença. Para a argila dispersa em água também se utilizou o método da pipeta. As frações areia foram separadas por tamisação empregando-se a peneira de 0,2 mm (nº 70), onde a areia grossa ficou retida, passando por ela a areia fina. A argila dispersa em água e as frações argila, silte, areia grossa e areia fina foram calculadas conforme as expressões abaixo e de acordo com a escala internacional de Atterberg, com modificação no limite mínimo da areia fina:

$$\% \text{ argila dispersa em água} = \text{peso da argila} \times 100 \times "f"$$

$$\% \text{ argila} = [(\text{peso da argila} + \text{peso do dispersante}) - \text{peso do dispersante}] \times 100 \times "f"$$

$$\% \text{ areia fina} = \text{peso da areia fina} \times 5 \times "f"$$

$$\% \text{ areia grossa} = [(\text{peso da areia fina} + \text{peso da areia grossa}) - \text{peso da areia fina}] \times 5 \times "f"$$

$$\% \text{ silte} = 100 - (\% \text{ argila} + \% \text{ areia fina} + \% \text{ areia grossa}) \times "f"$$

#### 4.2.5 ANÁLISES QUÍMICAS

Para as análises químicas: total, DCB, oxalato, pirofosfato e sulfúrico foram utilizadas 2 repetições; para os elementos trocáveis e C orgânico, 3 repetições.

##### 4.2.5.1 pH em H<sub>2</sub>O e pH em KCl 1 N

Foi obtido pelo método potenciométrico com a relação solo-H<sub>2</sub>O e solo-KCl de 1:2,5 (VETTORI, 1969, p. 5).

##### 4.2.5.2 Al trocável (acidez trocável)

Utilizou-se o método volumétrico, e a extração foi realizada com KCl 1 N, com a relação solo-KCl de 1:10. A determinação foi feita por titulação com NaOH 0,020 N, tendo o azul de bromotimol como indicador (EMBRAPA, 1979).

##### 4.2.5.3 Ca + Mg trocáveis

Utilizou-se o método complexométrico, e a extração foi realizada com KCl 1 N, com a relação solo-KCl de 1:10. Adicionada a solução tampão pH 10, a determinação foi feita por titulação com o EDTA 0,010 M, usando-se como indicador o negro-de-eriochromo (EMBRAPA, 1979).

#### 4.2.5.4 Ca trocável

Utilizou-se o extrator KCl 1 N, com a relação solo-KCl de 1:10. Adicionado KOH (10%), a determinação foi realizada por titulação com EDTA 0,010 M; e como indicador usou-se calcon mais  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (EMBRAPA, 1979).

O Al, Mg e Ca trocáveis foram extraídos simultaneamente e determinados em alíquotas separadas.

#### 4.2.5.5 K trocável

Utilizou-se o método fotométrico, e a extração foi realizada com a solução mehlich ( $\text{HCl}$  0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N), com a relação solo-extrator de 1:10 (EMBRAPA, 1979).

#### 4.2.5.6 P assimilável

Utilizou-se o método carolina-do-norte, e a extração foi feita com a solução mehlich ( $\text{HCl}$  0,05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N), com a proporção solo-extrator de 1:10. Efetuou-se a determinação por colorimetria, e o P foi extraído simultaneamente com o K (EMBRAPA, 1979).

#### 4.2.5.7 Acidez potencial (H + Al)

Realizou-se a extração com a solução tampão de acetato de cálcio  $[\text{Ca}(\text{OAc})_2]$  1 N a pH 7, e a determinação foi por titulação, com NaOH 0,025 N. A proporção solo-extrator foi 1:20 e como indicador usou-se fenolftaleína a 1%. A acidez potencial é constituída por duas

partes distintas da acidez do solo: a acidez trocável (Al) e a acidez não-trocável (H), essa última é neutralizada por soluções básicas ou tamponadas (RAIJ e QUAGGIO, 1983, p. 12).

#### 4.2.5.8 C orgânico

Utilizou-se o método titulométrico via úmida. O agente oxidante da matéria orgânica foi a solução de  $K_2Cr_2O_7$  1 N; o  $H_2SO_4$ , como fonte externa de calor para a reação; ainda adicionou-se  $H_3PO_4$ . A titulação foi realizada com  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,4 N e como indicador usou-se a difenilamina a 1%. O dicromato oxida a matéria orgânica do solo, e a quantidade que sobra de dicromato é medida pelo sulfato ferroso amoniacal. A coloração verde transparente indica que já não existe dicromato na solução (WALKLEY e BLACK, 1934<sup>10</sup> citados por PAVAN *et al.*, 1991, p. 19).

#### 4.2.5.9 $Fe_2O_{3T}$ e $Al_2O_{3T}$ (total)

Essas análises foram realizadas segundo JACKSON (1958)<sup>11</sup>, citado por HILDEBRAND (1977). Efetuou-se a digestão total do solo e da rocha com ácido fluorídrico (HF) a 40% e ácido perclórico ( $HClO_4$ ). A terra fina foi moída, passada em tamis de 0,2 mm, seca na estufa a 105°C por um dia e depois colocada por 30 min no dessecador. A seguir pesou-se 0,1000 g de solo em cadinho de platina, que, tampado, foi levado à mufla a 500°C, durante 3 h, para destruir a matéria orgânica. Depois de frio, adicionaram-se ao solo algumas gotas de água deionizada, 5 ml de HF e 0,5 ml de  $HClO_4$ , deixando os cadinhos com 9/10 de

---

<sup>10</sup> WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

<sup>11</sup> JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. Englewood cliffs, N. J : Prentice-Hall, Inc., 1958.

abertura e colocando-os em banho de areia até o material ficar bem seco e com coloração castanha. Efetuada a digestão, acrescentaram-se 5 ml de HCl 5N, e aqueceu-se o material na chapa elétrica, após foi diluído em balão de 100 ml. A determinação foi feita com espectrômetro de absorção atômica.

Essa digestão destrói os silicatos; livre, o Si combina-se com o F e volatiliza-se, enquanto os demais cátions permanecem. Na digestão foi extraído o Fe de todas as frações (areia, silte e argila) do solo, portanto o Fe da estrutura dos silicatos primários e secundários, Fe dos óxidos cristalinos (hematita, goethita, maghemita e lepidocrocita), Fe das formas de baixa cristalinidade (ferridrita e lepidocrocita), das concreções de Fe e o Fe ligado a matéria orgânica.

Para análise total das camadas orgânicas (Oo) dos solos, elas foram secas ao ar, moídas, secas a 105°C durante um dia e finalmente dessecadas. A seguir pesaram-se 2,0000 g do material em cadinho de porcelana, que foi colocado por 3 h na mufla, a 500°C; após esfriar adicionaram-se 10 gotas HCl 10% e o material foi colocado por mais 3 h na mufla; adicionaram-se, ainda, 10 ml HCl 10% ao material, que a seguir foi para a chapa elétrica até adquirir coloração verde-limão; e, por fim, filtrado e diluído em balão de 250 ml. A determinação foi feita no espectrômetro de absorção atômica.

#### 4.2.5.10 $\text{Fe}_2\text{O}_{30}$ e $\text{Al}_2\text{O}_{30}$ (oxalato)

Os procedimentos analíticos foram executados segundo SCHWERTMANN (1964)<sup>12</sup>, citado por HILDEBRAND (1977). A terra fina foi moída, passada em tamis de 0,2 mm, seca a 105°C e dessecada. Em 2,0000 g foram adicionados 100 ml da solução extratora de oxalato de

---

<sup>12</sup> SCHWERTMANN, W. The differentiation of iron oxide in soils by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate. **Z. Pflanzenernähr. Dung. Bodenkunde**, v. 105, p. 194-201, 1964.

amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$  0,2 M e ácido oxálico  $(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  0,2 M. A seguir, o material foi agitado durante 1 h em sala escura, após o que foi filtrado e permaneceu no escuro até o momento da sua determinação no espectrômetro de absorção atômica.

Nessa extração foi obtido predominantemente os óxidos de Fe (ferridrita, lepidocrocita) das formas de baixa cristalinidade.

Segundo McKEAGUE (1978, p. 98), o oxalato de amônio ácido dissolve o Fe inorgânico de baixa cristalinidade e o Fe orgânico dos solos; ataca fracamente a maioria dos minerais silicatados e os óxidos (hematita e goethita); também dissolve a magnetita (das frações areia e argila); e dissolve em grande quantidade silicatos facilmente intemperizáveis, como a olivina.

#### 4.2.5.11 $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{P}}$ e $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{P}}$ (pirofosfato)

Os procedimentos analíticos foram realizados segundo McKEAGUE (1978, p. 104). A terra fina foi moída, passada em tamis de 0,2 mm, seca a  $105^\circ\text{C}$  e dessecada. Em 2,0000 g foi adicionado o pirofosfato de sódio  $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$  0,1 M. A seguir agitou-se o material por 12 h e centrifugou-se por 10 min; filtrou-se o sobrenadante e a determinação foi realizada no espectrômetro de absorção atômica.

Esse procedimento possibilitou predominantemente a extração do Fe complexado na matéria orgânica.

Segundo McKEAGUE (1978, p. 98), o pirofosfato extrai o Fe orgânico complexado e dissolve apenas levemente as formas inorgânicas mal cristalizadas, minerais silicatados e óxidos Fe cristalinos.



#### 4.2.5.12 Fe<sub>2</sub>O<sub>3D</sub> (ditionito)

A extração foi realizada segundo MEHRA e JACKSON (1960)<sup>13</sup>, citados por McKEAGUE (1978, p. 98). Em 0,5000 g de terra fina moída, tamisada a 0,2 mm, seca a 105°C e dessecada, adicionaram-se 25 ml da solução de citrato (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O)-bicarbonato (NaHCO<sub>3</sub>) de sódio 0,3 M e a seguir, esquentou-se em banho-maria até a faixa de temperatura de 70-75°C; nesse momento, acrescentou-se 0,2 g de ditionito de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) e o material foi mexido manual e continuamente por 15 min, após adicionaram-se 2 ml da solução saturada de NaCl. Por último, levou-se o material à centrífuga por 5 min, a 3.000 rpm, transferindo depois o sobrenadante para um balão de 100 ml. Todo esse procedimento foi repetido 5 vezes para a mesma amostra até o líquido sobrenadante tornar-se incolor.

Nessa extração a temperatura não pode exceder 80°C, para evitar a precipitação do Fe na forma de sulfeto de ferro (FeS<sub>2</sub>). Nela o ditionito tem a função de reduzir o Fe de modo que se torne solúvel; o bicarbonato tem função de tampão e o citrato age como complexante do Fe. Essa extração atua na fração argila dos solos, extraíndo predominantemente os óxidos de Fe cristalinos e as formas de baixa cristalinidade.

De acordo com McKEAGUE (1978, p. 98), o DCB remove a hematita e a goethita da fração argila, o Fe inorgânico de baixa cristalinidade e o Fe orgânico complexado; extrai apenas levemente o Fe da maioria dos silicatos e não dissolve completamente goethita da fração areia; a magnetita não é dissolvida. Fornece uma estimativa dos óxidos de Fe dos solos.

---

<sup>13</sup> MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, p. 317-327, 1960.

#### 4.2.5.13 $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{S}}$ e $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{S}}$ (sulfúrico)

Em 1 g de terra fina moída, tamisada a 0,2 mm, seca a 105°C e dessecada; adicionou-se  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , cuja relação com a água foi de 1:1. A relação solo: $\text{H}_2\text{SO}_4$  foi de 1:20. Ferveu-se o material durante 30 min em condensador de refluxo; após esfriar acrescentaram-se 50 ml de água destilada e filtrou-se para balão de 250 ml (EMBRAPA, 1979). A determinação foi realizada por espectrometria de absorção atômica.

Do extrato foi obtido o Fe dos silicatos da fração argila, acrescidos da eventual presença dos óxidos de Fe primários (ilmenita e magnetita) (EMBRAPA, 1988b, p. 65).

#### 4.2.5.14 Sílica na terra fina

O resíduo da filtragem do ataque sulfúrico da terra fina foi utilizado para a determinação da sílica pelo método gravimétrico. Foi adicionado NaOH a 30% ao resíduo, e colocado em chapa elétrica até o início da fervura, depois do que o material foi diluído em balão de 200 ml e filtrado. Na sequência, a 50 ml do filtrado adicionaram-se  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{HNO}_3$ , a seguir esse material foi aquecido em banho de areia até a formação de fumaça branca. Novas filtrações foram efetuadas até cessar a reação (precipitado branco) com cloreto de bário ( $\text{BaCl}_2$ ). O resíduo aderido ao papel filtro foi levado à estufa a 105°C, calcinado em mufla a 1.000°C durante 1 h e depois dessecado. A quantidade de sílica foi determinada por pesagem (EMBRAPA, 1979).

#### 4.2.6 VALORES CALCULADOS

##### 4.2.6.1 Grau de flocculação (GF)

$$GF = 100 (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total}$$

##### 4.2.6.2 Soma de bases (S)

$$S = Ca + Mg + K$$

##### 4.2.6.3 CTC potencial

$$CTC = S + H + Al$$

##### 4.2.6.4 Acidez não trocável (H)

$$H = (H + Al) - Al; \quad \text{onde: } H + Al = \text{acidez potencial; } Al = \text{acidez trocável}$$

##### 4.2.6.5 Saturação por bases (V)

$$V = 100 \times S / CTC \text{ potencial}$$

##### 4.2.6.6 CTC em 100 g de argila livre de carbono

$$CTC \text{ mineral} = [CTC \text{ potencial (100 g solos)} - (\% C \times 4,5) / \% \text{ argila} \times 100]$$

#### 4.2.6.7 Saturação por alumínio (m)

$$m = 100 \times \text{Al} / \text{CTC efetiva} \quad \text{onde: CTC efetiva} = \text{Al} + \text{S}$$

#### 4.2.6.8 Relação molecular (Ki)

$$K_i = (\text{SiO}_2\% / 60) / (\text{Al}_2\text{O}_3\% / 102)$$

Cálculo baseado na forma molecular dos óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico.

#### 4.2.6.9 $\Delta\text{pH}$

$$\Delta\text{pH} = \text{pH em KCl} - \text{pH em H}_2\text{O}$$

#### 4.2.6.10 Substituição do Fe por Al na goethita

Estimada segundo SCHULZE (1984, p. 41) pela expressão:

$$\text{mol \% Al} = 1730 - 572 \times c; \quad \text{onde:} \quad c = [1 / d^2(111) - 1 / d^2(110)]^{-1/2},$$

$c$  = dimensão da célula unitária;

$d$  = distância interplanar.

#### 4.2.6.11 Largura à meia altura (LMH)

Estimada para caulinita e goethita através dos seus respectivos reflexos 001 e 110.

#### 4.2.6.12 Relação Ka / Ka + Gb

Realizada considerando-se as áreas dos picos endotérmicos da caulinita (Ka) e da gibbsita (Gb).

### 4.2.7 ANÁLISES MINERALÓGICAS DA FRAÇÃO ARGILA

Todos os procedimentos referentes a este item foram realizados segundo JACKSON (1969)<sup>14</sup>, citado por CAMARGO *et al.* (1986, p. 43) e estão descritos a seguir:

#### 4.2.7.1 Obtenção da fração argila

Foi usada a metodologia da pipeta já descrita anteriormente (item 3.2.4.2).

#### 4.2.7.2 Tratamentos da fração argila

Os passos seguidos para cada tratamento da fração argila:

##### a) eliminação da matéria orgânica:

Efetuada em banho-maria (60°C) com adições de 10 ml de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 30% (100 volumes) até o desaparecimento da reação.

O objetivo foi eliminar a matéria orgânica (agente cimentante), para promover a dispersão da fração argila e propiciar assim maior contato dela com os reagentes

---

<sup>14</sup> JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis-advanced course** Madison, university of Wisconsin, 1969, 895 p.

usados na remoção dos óxidos de Fe;

b) lavagem com acetato de sódio ( $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) a pH 5,0:

Realizaram-se 5 lavagens e centrifugações a 1.000 rpm, para saturar as argilas com íon Na, proporcionando assim sua dispersão e a eliminação do  $\text{H}_2\text{O}_2$ ;

c) remoção dos óxidos de Fe:

Adicionaram-se 40 ml de citrato de sódio ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 0,3 M e 5 ml de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 1 N; as amostras foram levadas à chapa elétrica (70-75°C) por 1 h, quando então se acrescentou cerca de 1 g de ditionito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) e se agitou periodicamente; se repetiu as adições de ditionito, 2 a 3 vezes, até que as amostras ficassem com coloração neutra. Eliminou-se então o sobrenadante e lavou-se 5 vezes o material com cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) 0,5 N, para eliminar os resíduos de Fe retidos mecanicamente entre as partículas.

A remoção dos óxidos de Fe foi para facilitar a dispersão da fração argila e assim concentrar os silicatos, favorecendo sua orientação preferencial e, em consequência, a intensificação dos seus reflexos, pois os óxidos prejudicam sua orientação. A concentração dos silicatos foi utilizada para: ATD, DRX e microscopia eletrônica;

d) preparo das lâminas para a DRX e ATD

As amostras de argila foram lavadas com água até a sua dispersão. De cada amostra fizeram-se duas subamostras, uma foi saturada com Mg (lavada 4 vezes com  $\text{MgCl}_2$  1 N); a outra saturada com K (lavada 4 vezes com  $\text{KCl}$  1 N). Depois, o material foi lavado 2 vezes com água deionizada, 2 vezes com álcool a 50% e 3 vezes com álcool puro, para remoção do excesso de sais. Após as lavagens, as amostras foram levadas à centrífuga e no final foi realizado o teste do cloreto com  $\text{AgNO}_3$  0,01 N.

As lâminas para DRX foram preparadas a partir de uma pasta orientada sobre uma lâmina de vidro, e deixadas secar ao ar. A orientação preferencial intensifica os espaçamentos basais dos minerais, facilitando a sua identificação, mesmo em pequenas quantidades. A maioria dos argilominerais tem formato de placas, favorecendo sua orientação paralela ao suporte.

A saturação substituiu os cátions das posições de troca por cátions conhecidos (Mg e K), para os quais os argilominerais apresentam espaçamento basal característico. Os seguintes tratamentos foram realizados nas amostras para a confecção das lâminas:

- nas saturadas com Mg foram feitos 2 tratamentos: secagem ao ar e secagem ao ar e uma gota de etilenoglicol a 30%.
- nas saturadas com K foram 3 tratamentos: secagem ao ar, secagem ao ar e aquecimento a 350°C, e secagem ao ar e aquecimento a 550°C (por 2 h).

Com esses 5 tratamentos foram obtidos 5 difratogramas com irradiação de 2 a 28 ° 2  $\theta$ /min. Para a obtenção dos termogramas foram utilizadas as amostras saturadas com Mg. No ATD a taxa de aquecimento foi de 20°C/min.

d) preparo das lâminas para microscopia eletrônica de transmissão

As argilas saturadas com Mg foram diluídas em água. Utilizou-se como película-suporte, o parlódio a 2% (dissolvido em acetato de amila), do qual se colocaram 2 gotas em um recipiente com água; o solvente evaporado formou uma película muito fina de parlódio, que foi depositada sobre uma grade (200 mesh) de aproximadamente 3 mm de diâmetro e sobre ela foi colocada a argila diluída. Após a secagem do material à temperatura ambiente, foram feitas as observações e as

fotomicrografias. O aumento usado no microscópio foi de 5.580 vezes, com tempo de exposição de 2 s. As fotomicrografias tiveram aumento de 1,5 vezes, perfazendo aumento final das argilas de 8.370 vezes ( $\cong$  8.400 vezes).

#### 4.2.7.3 Concentração dos óxidos de Fe

O procedimento seguido foi basicamente o de NORRISH e TAYLOR (1961)<sup>15</sup>, ligeiramente modificado por KÄMPF e SCHWERTMANN (1982)<sup>16</sup> citados por CAMARGO *et al.* (1986, p. 47).

A fração argila foi colocada num recipiente de níquel com 100 ml de NaOH 5 N, e fervida por 1 h em bico de bunsen. Depois de fria, foi centrifugada por 10 min a 1.400 rpm e descartado o sobrenadante. Em seguida, o material foi lavado e centrifugado com solução de NaOH 5 N; depois lavado 4 vezes com HCl 0,5 M para dissolver a sodalita (silicato de Al, Na e Cl); agora lavado 4 vezes com carbonato de amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$  1 N para flocular o material (remove NaCl formado); e, por último, lavado mais 4 vezes, com água deionizada para remover o excesso de  $\text{NH}_4$  e  $\text{CO}_3$ . Finalmente, o material foi centrifugado a 2.000 rpm, colocado em vidro-relógio e seco em estufa a 105°C, para volatilizar o excesso de carbonato de amônio. Essa extração destrói a maioria dos silicatos e a gibbsita, preservando os óxidos de Fe.

Os óxidos de Fe em mistura com os demais componentes da fração argila são dificilmente identificáveis pela DRX. Isto está relacionado a sua baixa cristalinidade e/ou baixa concentração. Ao contrário dos argilominerais, para os óxidos, as técnicas que promovem a orientação não intensificam os seus reflexos e não auxiliam na sua identificação.

---

<sup>15</sup> NORRISH, K.; TAYLOR, R.M. Isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethite. *Journal Soil Science*, v. 12, p. 294-307, 1961.

<sup>16</sup> KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays and Clays Minerals*, v. 30, p. 401-408, 1982.



Para as lâminas para DRX o material seco (pó) sem orientação foi depositado em retângulos de alumínio vazados. A irradiação utilizada foi de 2 a 60 ° 2  $\theta$ /min.

#### 4.2.8 ANÁLISE MINERALÓGICA DA FRAÇÃO AREIA

##### 4.2.8.1 Raios-X

As frações areia grossa (2,0-0,2 mm) e areia fina (0,2-0,05 mm) foram moídas e colocadas em lâminas de retângulos de alumínio vazados e então obtidos os difratogramas de 2 a 60 ° 2  $\theta$ /min.

##### 4.2.8.2 Quantitativo visual

Na fração areia total, primeiro os minerais foram separados com imã de bolso e depois analisados com lupa binocular para a contagem (EMBRAPA, 1979).

#### 4.2.9 ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (FERRIMAGNETISMO)

Efetuada estimativamente através do imã de bolso na TFSA (EMBRAPA, 1988b, p. 65).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 PERFIL 1**

#### **5.1.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO**

O Perfil 1 (Figura 1) situa-se a 930 m de altitude e está assentado na superfície geomórfica relacionada ao pediplano Pd<sub>1</sub>, na porção inferior de uma pequena elevação (encosta curta). O relevo local é forte ondulado, com cerca de 34% de declividade. Apresenta-se coberto por vegetação primária de floresta ombrófila mista montana ou subtropical perenifólia, na qual ocorrem exíguos pinheiros da família araucariáceas, de acordo com a Descrição Geral (A).

Possui espessura superior a 2 m, enquadrando-se na classe de profundidade, muito profundo (> 200 cm), e apresenta a seguinte seqüência de horizontes: A1-A2-AB-BA-Bw1-Bw2-Bw3-BC. A princípio, pode-se inferir, que o desenvolvimento morfológico do perfil é adiantado, fundamentado, na sua espessura razoável, na coloração vermelho-amarelado dos horizontes Bw, transição difusa entre os horizontes Bw e por apresentar classe geral de textura argilosa, segundo a Descrição Morfológica (B).

O subhorizonte A1 tem espessura de 7 cm (Quadro 1) e o A2 de 6 cm. As suas delimitações foram feitas através da coloração, que covaria com os teores de C orgânico. O horizonte B apresenta-se bem desenvolvido morfológicamente, como pode ser observado por sua espessura relativa de 99 cm, pela transição difusa dos subhorizontes, pela classe geral de

textura argilosa e pela coloração vermelho-amarelado (5 YR 4/6); diferencia-se do horizonte sobrejacente (BA) e do subjacente (BC) pela coloração.

Na amostra total (TFSA+cascalho+calhau) (Quadro 1), todos os horizontes do Perfil 1 são predominantemente constituídos por terra fina, cujo teor médio é de 99%. Os horizontes Bw apresentam 98% de terra fina e 2% de cascalho de quartzo leitoso, enquanto os demais horizontes apresentam valores de cascalho muito baixos [ $x (< 1\%)$ ].



FIGURA 1 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 1

A litologia é o migmatito do Pré-Cambriano. A princípio coloca-se a hipótese de que o material originário é produto de alteração do migmatito remanejado das partes mais altas da paisagem; no período em que perdurou o último clima semi-árido e a vegetação se encontrava rarefeita, deixando o solo com pouca proteção, aliado ao regime de chuvas concentradas em períodos curtos. O possível remanejamento é evidenciado morfologicamente pela presença de cascalhos arestados em todo o perfil e pela ocorrência esparsa de calhaus arestados (quartzo leitoso) na faixa de 80 a 122 cm. O material detrítico foi virtualmente embalado e transportado junto à massa de solo.

As areias apresentam valores (Figura 2) muito próximos em todo o perfil. Os valores da areia grossa (Ag) são ligeiramente superiores aos da areia fina (Af). A distribuição da Af no perfil mantém-se praticamente constante e a da Ag uma exígua oscilação. Os resultados da distribuição da Af e da Ag são praticamente uniformes, indicando não ter havido descontinuidade do material

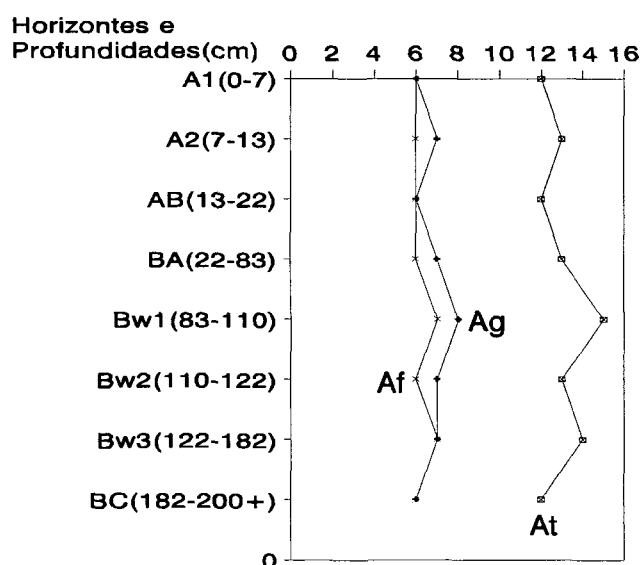


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 1

originário; então possivelmente o material remanejado é oriundo do mesmo material de origem.

Ademais, na fração areia dos horizontes Bw, o quartzo apresenta as faces arestadas, sugerindo não remanejamento ou remanejamento de curta distância, de acordo com a Descrição Mineralógica Quantitativa (C).

A partir dos resultados preditos da distribuição das areias, coloca-se a segunda hipótese: a presença dos cascalhos e calhaus de quartzo no perfil é oriunda de veios remanescentes que intercalavam a rocha; assim, o material de origem é produto de alteração da rocha *in situ*.

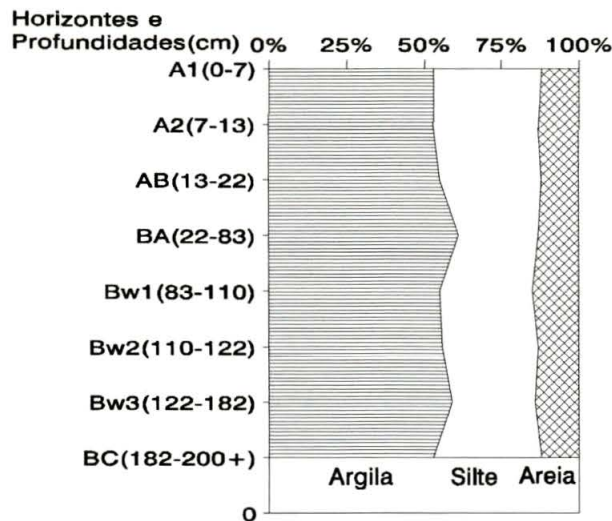


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1

A composição granulométrica evidencia a presença de quantidade expressiva e uniforme de argila em todos os horizontes. Os horizontes Bw têm teor médio de argila de 57% (Figura 3); assim conferindo a inclusão do perfil na classe geral de textura argilosa. O predomínio da fração argila na terra fina indica a possibilidade de relativo avanço do

intemperismo químico, pois a grande maioria dos minerais presentes nessa fração são minerais secundários originados por processos pedogenéticos.

A relação silte/argila é inferior a 0,6 (Quadro 1) nos horizontes Bw, exibindo uma média de 0,52, o que confirma os seus teores baixos de silte.

A rigor, os agregados revelam grande estabilidade, expressa pelo grau de floculação de 100% (Quadro 1) nos horizontes Bw, significando que a fração argila exprime características de pouca mobilidade e alta resistência à dispersão e ao transporte.

O  $\Delta pH$  apresenta valores negativos (Quadro 1) em todo o perfil, o que demonstra o predomínio de cargas negativas oriundas dos argilominerais e da matéria orgânica, em que pesem os médios conteúdos dos óxidos de Fe (11 a 15%).

A soma de bases (S) e os teores de P são muito baixos, respectivamente  $\leq 2$  cmol/kg de solo e  $\leq 3$  mg/kg (Quadro 1) no perfil, traduzindo a sua extrema pobreza em nutrientes.

A acidez não trocável (H) diminui com a profundidade, sincronicamente com o C orgânico: no horizonte A1 é 10,4 cmol/kg de solo e declina para 2,5 cmol/kg de solo no horizonte BC. Isso ocorre porque os horizontes superficiais apresentam, além do H dos grupos

oxidrilas da caulinita e dos óxidos de Fe e Al, também o H dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica.

A CTC potencial (Quadro 1) no subhorizonte A1 é elevada, com valor de 17,3 cmol/kg de solo, decrescendo com a profundidade juntamente com o C orgânico e atinge 6,1 cmol/kg de solo no horizonte BC.

A CTC, após correção para carbono nos horizontes Bw, apresenta valor médio de 6,5 cmol/kg de argila (Quadro 1), o que se deve provavelmente à presença dominante da caulinita; cuja banda é de 5 a 15 cmol/kg de argila, segundo BESOAIN (1985, p. 340). No entanto DIXON (1989, p. 506) encontrou uma banda mais estreita para a caulinita, ou seja, 1,28 a 4,62 cmol/kg.

O valor médio da saturação por Al (m) nos horizontes Bw é de 84% (Quadro 1), conferindo ao solo caráter álico, que se refere à CTC efetiva representada pelo Al ou acidez trocável (H desprezível), significando que 84% das cargas negativas estão ocupadas com Al. Todavia, segundo KINJO (1983, p. 27), em solos muito ácidos, como neste caso, com classe de reação extremamente ácida ( $\text{pH KCl} < 4,3$ ) em todo o perfil, pode existir algum teor de H trocável ocupando as cargas negativas do solo.

Todos os solos estudados por ROCHA *et al.* (1992, p. 16-18) na Serra do Mar (área 6), também apresentam caráter álico, independentemente da natureza do material de origem; e isto se deve possivelmente ao fator de formação clima apresentar precipitações elevadas ( $> 3.000 \text{ mm/ano}$ ), predominando, desse modo, o processo pedogenético de perdas de nutrientes por lixiviação.

Os horizontes Bw apresentam Ki médio de 0,97 (Quadro 1), o que se deve provavelmente ao predomínio da caulinita, juntamente com óxidos de Fe e outros argilominerais. Segundo a EMBRAPA (1988b, p. 11), o valor 2,0 do Ki indica caulinita pura, e para RESENDE e SANTANA (1988, p. 228) valor do Ki  $> 0,75$  indica latossolo caulínico.

Os valores da CTC e do Ki apontam para a presença de mineral argiloso de atividade baixa, a caulinita, o que possibilita uma predição sobre a mineralogia.

O excedente da precipitação da Serra do Mar associado ao relevo forte ondulado e montanhoso favorece a lixiviação de teores apreciáveis de cátions básicos do solo e explica em parte a frequência de solos ácidos na área estudada.

O padrão do relevo e a declividade do terreno no Perfil 1 determinam o destino das águas de precipitação, que é escorrer em direção ao nível de base local do que infiltrar. Ao passo que, a vegetação densa cumpre um papel importante como atenuante do efeito do relevo, diminuindo a velocidade das águas, permitindo maior infiltração e evitando as enxurradas.

Mesmo o relevo favorecendo a drenagem das águas, os solos mantêm-se, via de regra, úmidos, por causa da água excedente oriunda das elevadas precipitações na Serra do Mar. A vegetação atua também como barreira física contra a radiação e a evaporação; preservando assim, o solo mais úmido e com temperatura mais baixa. O relevo regional é responsável em parte pelas precipitações, provocando as chuvas orográficas, e também pela diminuição da temperatura do ar com o aumento da altitude.

No Pleistoceno as alternâncias climáticas juntamente com outros fatores engendraram a morfologia da paisagem atual. Entretanto, no presente o relevo possui uma ação na dinâmica das águas que caem por precipitação, determinando seu destino.

Apesar da ausência de dados sobre a temperatura do solo, foi feita uma estimativa do regime térmico baseada na temperatura média do ar calculada por MAACK (1968, p. 98). O mesmo vale para o regime hídrico do solo, que foi estimado com base no regime pluviométrico.

No Perfil 1, o regime hídrico do solo é virtualmente o údico (*L. udus* = úmido). Na Serra do Mar nas altitudes < 1.000 m, provavelmente predomina o regime hídrico údico.

No regime hídrico údico, o solo não pode permanecer seco por 90 dias acumulados por ano; ele, é comum em solos de climas úmidos que têm a precipitação bem distribuída, ou no



verão é suficiente para que a quantidade de água armazenada mais a precipitação seja igual ou exceda a água evapotranspirada; nessas condições a água se move através do solo por algum tempo na maioria do ano, de acordo com Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 20-21).

No Perfil 1, a classe de regime térmico é virtualmente o mésico.

No regime térmico mésico, a temperatura média anual do solo é  $\geq 8^{\circ}\text{C}$ , mas  $< 15^{\circ}\text{C}$ , à profundidade de 50 cm, de acordo com a Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 22).

### 5.1.2 CLASSIFICAÇÃO

A classificação do Perfil 1 foi realizada de acordo com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 9) e EMBRAPA (1988b, p. 21, 65); e com a Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 11, 42, 233, 239) no nível de Grande Grupo.

O Perfil 1 apresenta todas as características distintivas exigidas para B latossólico (Quadro 1), a saber: **morfológicas**: pouca diferenciação dos subhorizontes com transição difusa, estrutura moderada em blocos subangulares, espessura de 99 cm e ausência de estrutura da rocha; **físicas**: grau de flocculação de 100%, textura argilosa e relação silte/argila de 0,52 (média); **químicas**: Ki de 0,97 (média) e CTC mineral de 6,5 cmol/kg argila (média); **mineralógicas**: ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis na fração areia e de montmorilonita na fração argila.

Os horizontes A1 e A2 apresentam altos valores de C orgânico, respectivamente 6,59% e 4,12% (Quadro 1), que diminuem com a profundidade. Isso se deve ao processo



pedogenético de adição de material orgânico, seguido do de transformação biológica por decomposição. O horizonte A é classificado como moderado porque a sua espessura é insuficiente ( $< 25$  cm) para identificá-lo como proeminente. Na faixa de altitude  $\geq 800$  e  $< 1.000$  m, há uma tendência de predomínio de A moderado ou proeminente, mas à medida que aumenta a altitude, os teores de C orgânico e a espessura também aumentam. Na área 6, ROCHA *et al.* (1992, p. 17-18) também encontraram predominantemente A moderado, no pediplano Pd<sub>1</sub>.

A percentagem de Fe<sub>2</sub>O<sub>3s</sub> da terra fina é, via de regra, a característica distintiva principal interclasse dos latossolos de textura argilosa. Os horizontes Bw<sub>1</sub>, Bw<sub>2</sub>, Bw<sub>3</sub> apresentam respectivamente os seguintes teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3s</sub>: 12,36%; 13,37% e 14,59% (Quadro 1). Segundo os limites de Fe<sub>2</sub>O<sub>3s</sub> estabelecidos para as subclasses de latossolos pela EMBRAPA (1988b, p. 65), a princípio o Perfil 1 enquadra-se simultaneamente em 3 subclasses: Latossolo Vermelho-Escuro (LE) (18-8%); Latossolo Variação Una (LU) ( $> 11\%$ ) e Latossolo Bruno (LB) ( $> 11\%$ ). Nessas circunstâncias, depara-se com uma situação dúbia e difícil, onde a principal característica distintiva expressa fragilidade, visto que seus limites se apresentam com grande sobreposição ou chegando mesmo ao extremo de serem iguais, como no caso das subclasses de LU e LB, não cumprindo, dessa forma, sua função distintiva.

Essa situação aponta à necessidade de uma redefinição dos limites de Fe<sub>2</sub>O<sub>3s</sub>, fundamentada, em razões provenientes de estudos de dados existentes sobre a classe dos latossolos no Brasil, que, aliás, não são poucos. Pois, existe muito conhecimento acumulado que poderia ser aplicado proveitosamente à melhoria do sistema, resolvendo assim muitos pontos inconsistentes que na maioria das vezes, obrigam, à tomada de decisões pessoais, que ficam à mercê do bom senso, da experiência e da concepção do pesquisador. Apesar, das subclasses de LU e LB serem de conhecimento mais recente e por isso com dados mais escassos que as demais subclasses de latossolos (salvo o Latossolo Ferrífero), então admite-se,

a necessidade de maiores investigações, com número maior de perfis caracterizados, para embasar com maior pertinência os limites das suas características distintivas principais ou, até mesmo, a incorporação de outras características distintivas peculiares a essas duas subclasses de latossolos.

A próxima característica distintiva analisada, a cor (úmida) em relação ao matiz, preenche simultaneamente o requisito exigido para LU e LB, apresentando-se menos vermelho que 3,5 YR, ou seja, é 5 YR, o que elimina a subclasse de LE. O valor 4 e o croma 6 nos horizontes Bw, tampouco conseguem distinguir as subclasses de LU e LB; pelo contrário contemplam as duas ao mesmo tempo.

A cor (matiz) confere um critério ímpar, apesar, das duas subclasses de latossolo em apreço apresentarem os mesmos limites para matiz, a subclasse de LB caracteriza-se por sofrer avermelhamento em profundidade (policromia). Como o Perfil 1 não sofre policromia nos horizontes Bw, e aliado ao fato de apresentar moderada atração magnética, permite identificá-lo como LU, pois o LB é virtualmente não atraído.

As duas características que determinaram a identificação da subclasse de LU foram a peculiaridade de não avermelhamento em profundidade nos horizontes Bw e a moderada atração ao magneto, de acordo com a Descrição Mineralógica Quantitativa (C).

O horizonte A moderado, apesar de ter altos teores de C orgânico, não apresenta a cor escura correspondente, o que confere ao horizonte o caráter criptóúmico. Segundo CAMARGO *et al.* (1988, p. 194), esse caráter ocorre tanto em LB como em LU; ademais OLIVEIRA *et al.* (1991, p. 210), encontraram LU com caráter criptóúmico, com frequência, em Guaíra-SP.

O Ki, característica distintiva que primeiramente auxiliou na definição do horizonte Bw, volta novamente com um grau maior de detalhamento para servir de característica distintiva subordinada, mas na verdade não contribui na definição da subclasse de latossolo. O valor do

Ki de 0,97 preenche simultaneamente os requisitos para LB e LU. O intervalo de classe do Ki (0,2 a 2,0) para LU, de acordo com EMBRAPA (1988b, p. 65), demonstra que esse pode ser tanto oxídico como caulínico.

Apesar de se chegar à determinação da classe de solo, foi com dificuldade e através de características distintivas subordinadas (policromia e suscetibilidade magnética), pois as características distintivas principais falharam no seu propósito maior que é separar ou distinguir. Em outras palavras, a característica distintiva teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  falhou por apresentar igual intervalo de variação, e a cor por apresentar sobreposição, o que demonstra a necessidade de um número maior de perfis descritos para ajustar os limites das classes de Fe e também de cor, através de estudos estatísticos. Mesmo a classe dos latossolos, que é uma das mais bem definidas, apresenta ainda pontos inconsistentes, em consequência da classificação de solos em uso no Brasil, ser recente e estar em processo de elaboração. Portanto quanto maior o número de indivíduos estudados e se aplicados à classificação, mais próximos da realidade serão os intervalos de variação das suas características distintivas.

Uma amostra maior de solos pertencentes as subclasses de LB e LU deve ser estudada, como também deve ser feito um reestudo dos dados de solos já classificados, pois muitos solos das subclasses de LU e LB podem ter sido classificados nas demais subclasses de latossolo, porque os parâmetros de classificação da época eram outros. Outros perfis do LU dever-se-ão estudados nessa área com o escopo de estabelecer sua expressão geográfica e, além disso, com número maior de dados, firmar as peculiaridades da subclasse de LU existente na Serra do Mar-PR.

Parece que a ocorrência do LU na Serra do Mar-PR está particularmente localizada na borda da formação Guaratubinha com o migmatito.

A classificação do Perfil 1 é Latossolo Variação Una Álico A moderado criptoúmico textura argilosa.

Vale salientar que o Perfil 1 pode ser considerado o primeiro Latossolo Variação Una descrito e classificado no Estado do Paraná. No levantamento realizado pela EMBRAPA (1984, p. 116-117) foi descrito um perfil (LV) em São José dos Pinhais-PR, na porção desse município localizada no Primeiro Planalto do Paraná. Na verdade, não houve descrição de perfil na região da Serra do Mar; e as subclasses de latossolos descritas pela EMBRAPA no Estado foram: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Roxo e Latossolo Bruno.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 1

Horizonte		Cor (úmido)	Frações da amostra total (%)			Composição granulométrica (%)				silte/argila	Argila dispersa $\text{H}_2\text{O}$ (%)	Grau de floculação (%)
Símbolo	Profundidade (cm)		Calhau 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte (mm) 0,05-0,002	Argila < 0,002 mm			
A1	00-07	7,5 YR 3/2	0	x * <sup>1</sup>	100	6	6	35	53	0,66	9	83
A2	07-13	7,5 YR 3/4	0	x	100	7	6	34	53	0,64	18	66
AB	13-22	7,5 YR 4/4	0	x	100	6	6	33	55	0,60	16	71
BA	22-83	7,5 YR 4/4	0	x	100	7	6	26	61	0,43	1	98
<b>Bw1</b>	<b>83-110</b>	<b>5 YR 4/6</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>97</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>30</b>	<b>55</b>	<b>0,54</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>Bw2</b>	<b>110-122</b>	<b>5 YR 4/6</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>98</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>31</b>	<b>56</b>	<b>0,55</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>Bw3</b>	<b>122-182</b>	<b>5 YR 4/6</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>98</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>59</b>	<b>0,46</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
BC	182-200+	5 YR 5/6	0	x	100	6	6	35	53	0,66	0	100

pH (1:2,5)			Complexo sortivo (cmol/kg solo)									V (%)	m (%)	P (mg/kg)	C (%)
$\text{H}_2\text{O}$	KCl N	$\Delta\text{pH}$	Ca	Mg	K	S * <sup>2</sup>	Al * <sup>3</sup>	H+Al * <sup>4</sup>	H * <sup>5</sup>	CTC p * <sup>6</sup>	CTC m * <sup>7</sup>				
4,9	3,9	-1,0	0,7	1,2	0,09	2,0	4,9	15,3	10,4	17,3		11	71	3	6,59
4,9	3,9	-1,0	0,3	0,4	0,02	0,7	5,0	11,8	6,8	12,5		6	87	1	4,12
5,0	4,0	-1,0	0,2	0,4	0,01	0,6	4,9	10,4	5,5	11,0		5	89	1	2,41
5,0	4,0	-1,0	0,3	0,3	0,01	0,6	4,2	8,2	4,0	8,8		7	87	<1	1,98
<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,01</b>	<b>0,5</b>	<b>3,3</b>	<b>7,7</b>	<b>4,4</b>	<b>8,2</b>	<b>5,3</b>	<b>6</b>	<b>87</b>	<b>&lt;1</b>	<b>1,18</b>
<b>5,1</b>	<b>4,2</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>0,6</b>	<b>2,6</b>	<b>6,6</b>	<b>4,0</b>	<b>7,2</b>	<b>6,4</b>	<b>8</b>	<b>81</b>	<b>&lt;1</b>	<b>0,81</b>
<b>5,1</b>	<b>4,3</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>0,4</b>	<b>2,2</b>	<b>6,0</b>	<b>3,8</b>	<b>6,4</b>	<b>7,8</b>	<b>6</b>	<b>84</b>	<b>&lt;1</b>	<b>0,40</b>
5,2	4,2	-1,0	0,4	0,1	0,01	0,5	3,1	5,6	2,5	6,1		8	85	<1	0,31

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) <sup>*8</sup> e as razões							% de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>*8</sup> e o índice Ki					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	SiO <sub>2S</sub>	Ki	Al <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>
11,61	11,36	10,44	0,74	0,40	0,90	0,07	12,66	1,15	21,25	18,67	0,53	0,39
12,00	11,80	10,86	0,81	0,36	0,90	0,07	13,66	1,29	23,84	18,04	0,55	0,37
13,03	12,21	10,81	0,61	0,27	0,83	0,06	16,44	1,46	24,31	19,04	0,60	0,35
13,18	12,47	10,38	0,31	0,06	0,79	0,03	12,59	1,08	24,31	19,85	0,58	0,26
<b>12,78</b>	<b>12,36</b>	<b>10,20</b>	<b>0,39</b>	<b>0,04</b>	<b>0,80</b>	<b>0,04</b>	<b>12,30</b>	<b>1,03</b>	<b>25,50</b>	<b>20,35</b>	<b>0,77</b>	<b>0,28</b>
<b>13,82</b>	<b>13,37</b>	<b>10,52</b>	<b>0,34</b>	<b>0,02</b>	<b>0,76</b>	<b>0,03</b>	<b>11,91</b>	<b>0,98</b>	<b>25,50</b>	<b>20,66</b>	<b>0,72</b>	<b>0,27</b>
<b>14,93</b>	<b>14,59</b>	<b>14,38</b>	<b>0,74</b>	<b>0,05</b>	<b>0,96</b>	<b>0,05</b>	<b>10,55</b>	<b>0,90</b>	<b>26,67</b>	<b>19,97</b>	<b>0,91</b>	<b>0,28</b>
15,93	15,17	15,01	0,30	0,01	0,94	0,02	12,79	1,02	26,44	21,22	0,57	0,19

\*<sup>1</sup> x < 1 %; \*<sup>2</sup> soma de bases; \*<sup>3</sup> acidez trocável; \*<sup>4</sup> acidez potencial; \*<sup>5</sup> acidez não trocável; \*<sup>6</sup> p- potencial; \*<sup>7</sup> m- mineral; \*<sup>8</sup> T- total, S- sulfúrico, D- ditionito, O -oxalato, P- pirofosfato

## A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - Nº 1

DATA - 26/04/1993

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA - LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA ÁLICO A moderado criptóumico textura argilosa fase subtropical perenifólia relevo forte ondulado.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA - HAPLUDOX

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Situado a 30 km de Curitiba (do SCA - UFPR), acesso pela BR 277, entrada à esquerda antes do primeiro posto da polícia rodoviária no km 603, na Vila Miringuava em São José dos Pinhais-PR, na Serra do Mar, a 25° 43' 50" S e 49° 05' 29" W GR.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada na porção inferior de elevação (encosta curta), com cerca de 34% de declive e sob cobertura de floresta primária, onde ocorrem exíguas araucárias

ALTITUDE - 930 m

LITOLOGIA - Migmatito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Complexo cristalino

ERA - Pré-Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos de alteração remanejados do migmatito

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa

ROCHOSIDADE - Não rochosa

RELEVO LOCAL - Forte ondulado

RELEVO REGIONAL - Montanhoso

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Subtropical perenifólia (ou floresta ombrófila mista montana)

USO ATUAL - Floresta primária

CLIMA - Cfb da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR - N. L. B. GHANI e A. SANTOS FILHO

## B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

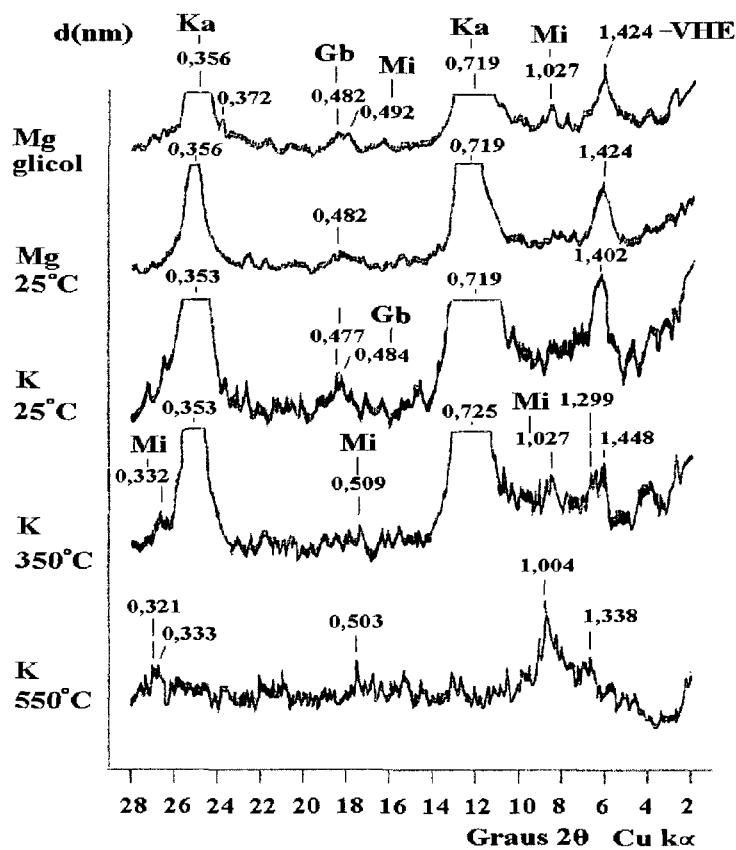
- A1 0-7 cm, bruno-escuro (7,5 YR 3/2, úmido), bruno-amarelado (10 YR 5/4, seco); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes comuns.
- A2 7-13 cm, bruno-escuro (7,5 YR 3/4, úmido), bruno-amarelado (10 YR 5/4, seco); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes comuns.
- AB 13-22 cm, bruno-escuro a bruno (7,5 YR 4/4, úmido), bruno-amarelado (10 YR 5/8, seco); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes poucas.
- BA 22-83 cm, bruno-escuro a bruno (7,5 YR 4/4, úmido), amarelo-brunado (10 YR 6/6, seco); muito argiloso; moderada média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes poucas.
- Bw1 83-110 cm, vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido), bruno-amarelado (10 YR 5/6, seco); argila; moderada média a grande blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana, raízes poucas.
- Bw2 110-122 cm, vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido), bruno-forte (7,5 YR 5/6 seco); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- Bw3 122-182 cm, vermelho-amarelado (5 YR 4/6 úmido), bruno-forte (7,5 YR 5/8, seco); argila; moderada grande blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes raras.
- BC 182-200 cm+, vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmido), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, seco); argila; moderada grandes blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso; raízes raras.

Observações - Todo o perfil apresenta cascalhos de quartzo leitoso arestado. A partir de 80 cm até 122 cm de profundidade, além de cascalhos de quartzo arestado, verificou-se a presença de calhaus arestados de quartzo leitoso de 20 cm de diâmetro. Trincheira de 200 cm de profundidade.

## C. DESCRIÇÃO MINERALÓGICA QUANTITATIVA

- Bw1 Areias - 85% de quartzo hialino; faces arestadas; 10% de concreções ferruginosas não atraídas; 5% de concreções ferruginosas atraídas.
- Bw2 Areias - 80% de quartzo hialino; faces arestadas; 13% de concreções ferruginosas não atraídas; 7% de concreções ferruginosas atraídas; traços de mica alterada.
- Bw3 Areias - 75% de quartzo hialino; faces arestadas; 16% de concreções ferruginosas não atraídas; 9% de concreções ferruginosas atraídas; traços de mica alterada.
- Observações: O perfil apresenta pouca atração ao magneto, que aumenta com a profundidade.

### 5.1.3 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_3$



**FIGURA 15 - Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte A1 do Perfil 1**

No horizonte A1, o pico 1,4 nm permanece praticamente inalterado nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, respectivamente 1,424 nm; 1,424 nm; e 1,402 nm (Figura 15). No entanto no tratamento K 350°C, o referido pico perde a estabilidade com o aumento da temperatura e sofre colapso, produzindo uma banda de 1,299 nm a 1,448 nm. Em adição, no tratamento K 550°C a mudança produzida é maior ainda,

formando uma banda mais larga: 1,004 nm a 1,338 nm, em que a extremidade do reflexo 1,004 nm tem intensidade maior do que a extremidade do reflexo 1,338 nm. A partir disso, aponta-se para a presença da Vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas (VHE), devido à sua incapacidade de manter o pico 1,4 nm após os tratamentos com K 350°C e K 550°C e também pela ausência de contração do referido pico para 1,02 nm com o tratamento K 25°C, de acordo com BARNHISEL e BERTSCH (1989, p. 729).

A amplitude da banda com resistência a produzir um pico e também a intensidade da temperatura requerida para o colapso dão uma estimativa do grau de preenchimento das entrecamadas da VHE (BARNHISEL e BERTSCH, 1989, p. 747). Em suma, no horizonte A1 o tratamento K 25°C altera ligeiramente o pico 1,4 nm, enquanto no tratamento K 350°C ocorre um colapso, formando uma banda pequena, e no tratamento K 550°C o colapso é maior, formando uma banda mais larga. Isso indica que o grau de preenchimento das entrecamadas é relativamente elevado, pois a magnitude das mudanças intensifica-se com o aumento da temperatura.

A presença da caulinita (Ka) no horizonte A1 é indicada pelos espaçamentos interplanares de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem respectivamente: 0,719 nm, 0,725 nm; e 0,356 nm, 0,353 nm (Figura 15) e confirmada pelo desaparecimento desses picos com o tratamento K 550°C. Os picos são magnos, sugerindo elevada quantidade da Ka. Além disso, no horizonte A1 o termograma confirma a predominância da Ka com 96% em relação à gibbsita (Gb) com 4% (Figura 16). O pico endotérmico da Ka em todos os horizontes no perfil é 600°C (Figura 16). Essa temperatura de decomposição indica que a Ka apresenta grau de cristalinidade elevado.

A existência da Gb no horizonte A1 é indicada por picos de intensidade muito baixa, com reflexo de 0,482 nm (Figura 15) nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C.

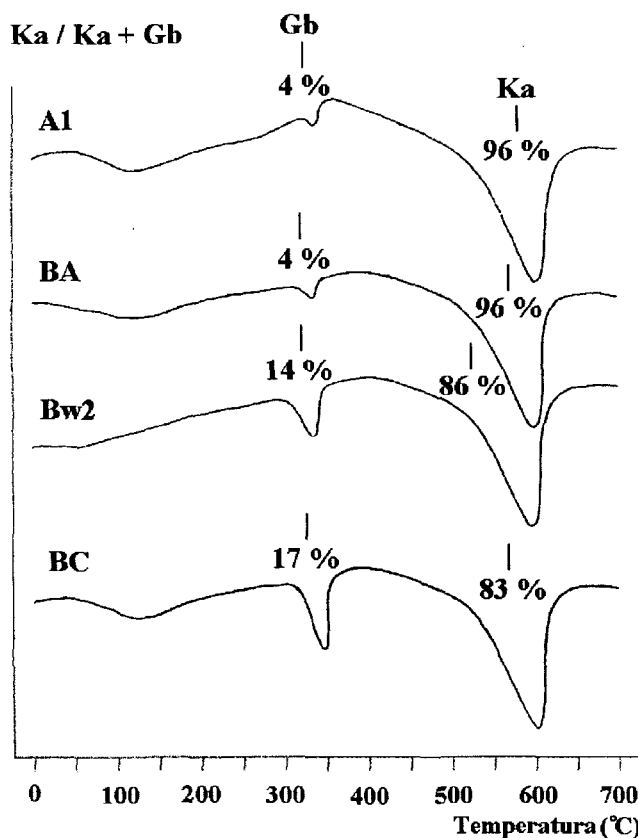


FIGURA 16 - Termogramas da fração argila desferrificada dos horizontes selecionados do Perfil 1



Ademais, no tratamento K 25°C, a presença da Gb é verificada pelo reflexo 0,484 nm (Figura 15). Todos esses picos desaparecem a 350°C, comprovando a presença da Gb. A partir disso, infere-se que a Gb apresenta teores baixos, em função da intensidade baixa dos seus picos; e que os seus teores absolutos são > 50 g/kg, porque é detectada pela DRX (Difração por raios-X), de acordo com JACKSON (1969)<sup>18</sup>, citado por HSU (1989, p. 340). O pico endotérmico da Gb no horizonte A1 é 333°C (Figura 16).

No horizonte A1 o tratamento Mg glicol indica a presença da Mi, cujos picos são 1,027 nm; e 0,492 nm (Figura 15). Em adição, o tratamento K 350°C mostra os picos de 1.<sup>a</sup>; 2.<sup>a</sup>; e 3.<sup>a</sup> ordem da Mi respectivamente: 1,027 nm; 0,509 nm; e 0,332 nm. Além disso, o tratamento K 550°C exhibe distintamente dois picos da Mi, a saber: 0,503 nm; e 0,333 nm; todavia o seu pico 1,0 nm está provavelmente sobreposto à banda da VHE. A intensidade baixa dos picos e também porque não estão presentes em todos os tratamentos, sugerem baixa quantidade da Mi. A Mi é virtualmente o mineral precursor da VHE no perfil, e provavelmente a sua maioria herdada da rocha foi convertida em VHE. As condições ácidas e álicas do solo favorecem a formação da VHE, a partir da Mi. O K entrecamadas da Mi é trocado pela hidróxi-Al, originando a VHE.

No horizonte BA, a VHE apresenta no tratamento Mg glicol o pico 1,472 nm (Figura 17). Todavia nos tratamentos Mg 25°C e K 25°C, o referido pico sofre contração para 1,380 nm; e também há formação de um ombro (1,178 nm) no K 25°C, o que provavelmente é um indício de desestabilização. Ademais, nos tratamentos K 350°C e K 550°C os picos sofrem colapso, formando as respectivas bandas, 1,004 nm a 1,359 nm; e 1,004 nm a 1,318 nm (Figura 17); o que indica que o preenchimento entrecamadas é possivelmente moderado, pois a

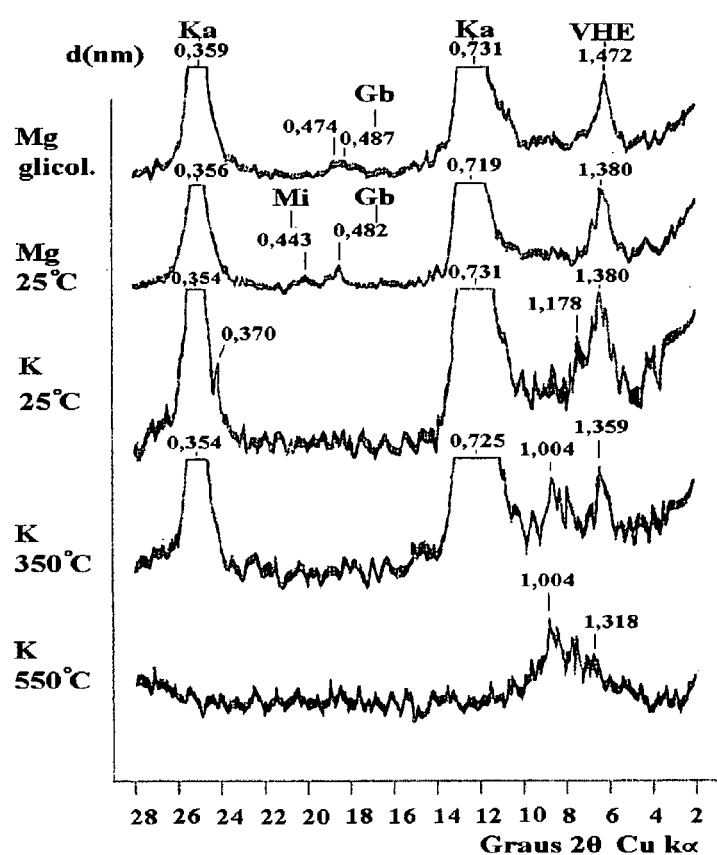
---

<sup>18</sup> JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis-advanced course*. 2nd. ed. Univ. Wisconsin : Published by the author, Madison, 1969.

desestabilização já inicia no tratamento K 25°C, e há ainda intensificação dos colapsos com a profundidade.

No horizonte BA, os picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem da Ka se apresentam bem desenvolvidos, respectivamente: 0,731 nm, 0,719 nm, 0,725 nm; e 0,359 nm, 0,356 nm, 0,354 nm (Figura 17), que desaparecem com o tratamento K 550°C. A intensidade dos picos indica elevada quantidade de Ka. O termograma confirma o predomínio da Ka com 96% (Figura 16) em relação à Gb.

No horizonte BA com o tratamento Mg glicol, aparece vestígio da Gb, com o pico



**FIGURA 17 - Difratoigramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte BA do Perfil 1**

0,487 nm. O tratamento Mg 25°C mostra o pico de difração da Gb de 0,482 nm, que apresenta intensidade fraca (Figura 17). A intensidade dos picos indica teores baixos da Gb. Esses picos desaparecem com o tratamento K 350°C. A ATD (Análise térmica diferencial) ilustra os teores baixos da Gb com 4% (Figura 16) em relação à Ka. O pico endotérmico da Gb é de 333°C (Figura 16).

No horizonte BA a presença da Mi é verificada somente no tratamento Mg 25°C, com o pico 0,443 nm (Figura 17), que apresenta intensidade muito baixa, indicando vestígios do mineral.

No horizonte Bw2 a VHE aparece nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C, com picos de valores idênticos: 1,424 nm (Figura 18); todavia nos tratamentos K 25°C e K 350°C, sofrem pequeno colapso para 1,359 nm, e no tratamento K 550°C ocorre colapso maior formando a banda de 0,993 nm a 1,104 nm. A maior estabilidade da VHE é representada pela resistência à formação de banda até o tratamento K 350°C, sugerindo grau de preenchimento entrecamadas maior se comparado com os horizontes suprajacentes.

No horizonte Bw2 a Ka é identificada pelos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem, respectivamente 0,725 nm, 0,713 nm, 0,719 nm; e 0,356 nm, 0,353 nm, 0,354 nm (Figura 18), que desaparecem com o tratamento K 550°C. Os picos apresentam intensidade menor do que nos horizontes sobrejacentes, mas, mesmo assim, é relativamente elevada, sugerindo elevada quantidade da Ka. A ATD confirma o predomínio da Ka, com 86%, em relação à Gb; e analogamente a DRX, à ATD mostra decréscimo nos teores da Ka em relação à Gb (Figura 16).

A presença da Gb no horizonte Bw2 é verificada nos tratamentos Mg glicol e K 25°C, através dos respectivos picos 0,484 nm; e 0,482 nm (Figura 18), e a seguir é confirmada pelo desaparecimento desses picos no tratamento K 350°C. A ATD mostra que o teor da Gb é 14%

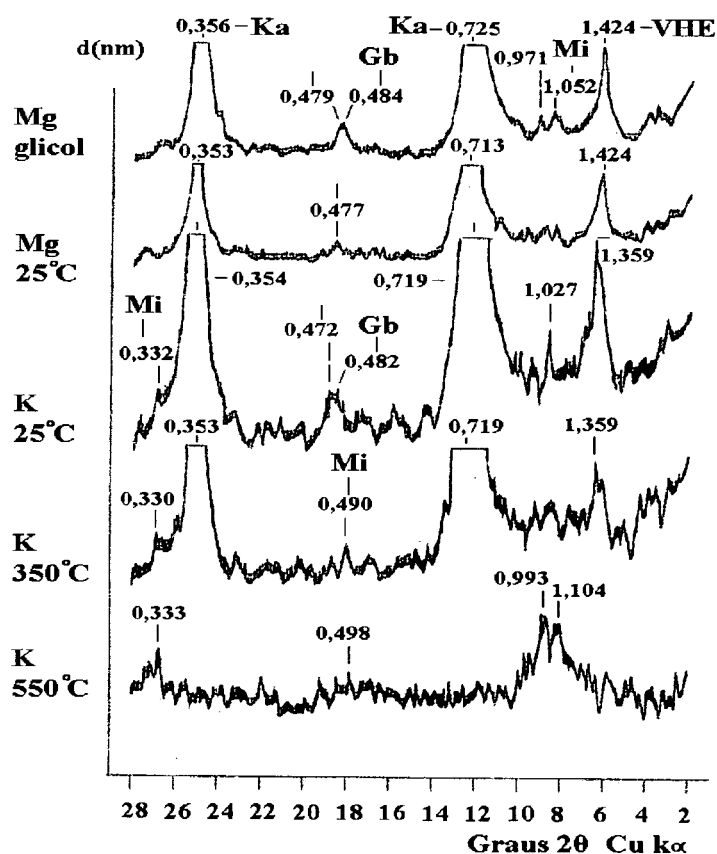


FIGURA 18 - Difractogramas de raios-X da fração argila desferificada do horizonte Bw2 do Perfil 1

em relação à Ka (Figura 16). O pico endotérmico da Gb no horizonte Bw2 é 340°C (Figura 16).

Os picos da Mi no horizonte Bw2 aparecem nos tratamentos Mg glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C, respectivamente, 1,052 nm, 0,971 nm; 1,027 nm, 0,332 nm; 0,490 nm, 0,330 nm; e 0,498 nm, 0,333 nm (Figura 18). No tratamento K 550°C o pico de 1.<sup>a</sup> ordem da Mi está possivelmente sobreposto ao da VHE.

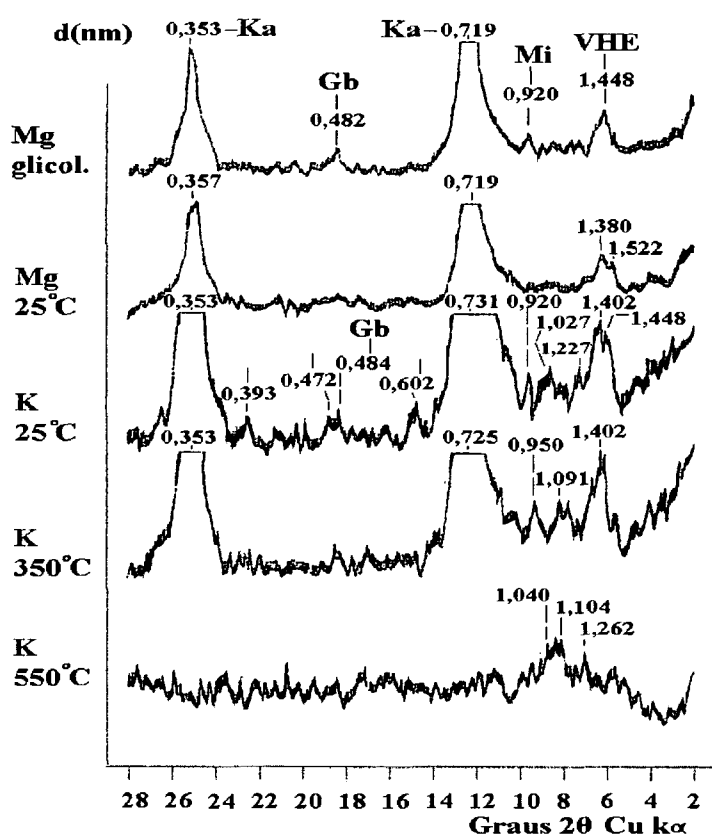


FIGURA 19 - Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte BC do Perfil 1

No horizonte BC a VHE apresenta picos de intensidade menor, se comparado aos demais horizontes em todos os tratamentos. O tratamento Mg glicol apresenta o pico de difração de 1,448 nm, enquanto no tratamento Mg 25°C há contração desse pico para 1,380 nm, acompanhado por um pequeno ombro de 1,522 nm. No tratamento K 25°C forma-se um pico duplo, de reflexos 1,402 nm e 1,448 nm, com um ombro de 1,227 nm (Figura 19).

No tratamento K 350°C, o pico 1,402 nm permanece estável, mas no K 550°C ocorre um colapso, produzindo um pico de 1,262 nm. A permanência do pico 1,402 nm no tratamento K 350°C e a formação de um pico de 1,262 nm, sem a formação de banda no tratamento K 550°C, sugerem um grau de preenchimento entrecamadas maior se comparado com os horizontes suprajacentes.

A Ka é identificada no horizonte BC pelos respectivos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem: 0,719 nm, 0,731 nm, 0,725 nm; e 0,353 nm, 0,357 nm (Figura 19), e a seguir é confirmada pelo desaparecimento dos picos com o tratamento K 550°C. Os picos apresentam intensidade menor do que nos horizontes sobrejacentes, mas, mesmo assim, é relativamente elevada, sugerindo elevada quantidade da Ka.

Igualmente o termograma confirma a predominância da Ka com 83% no horizonte BC em relação à Gb com 17%; e também decréscimo nos teores da Ka com a profundidade, em relação à Gb (Figura 16).

A presença da Gb no horizonte BC é apontada nos tratamentos Mg glicol e K 25°C, pelos respectivos picos de reflexos 0,482 nm; e 0,484 nm (Figura 19), de intensidades muito baixa. O pico endotérmico da Gb é 352°C (Figura 16).

A presença da Mi no horizonte BC é indicada pelos tratamentos Mg glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C, respectivamente 0,920 nm; 1,027 nm, 0,920 nm; 0,950 nm, 1,091 nm; e 1,040 nm (Figura 19).

A não persistência do pico de reflexo 1,448 nm com o tratamento K e a temperatura indica a inexistência da clorita no perfil.

Nos tratamentos com K e a temperatura, a instabilidade do pico 1,4 nm indica a presença da VHE com preenchimento incompleto das entrecamadas.

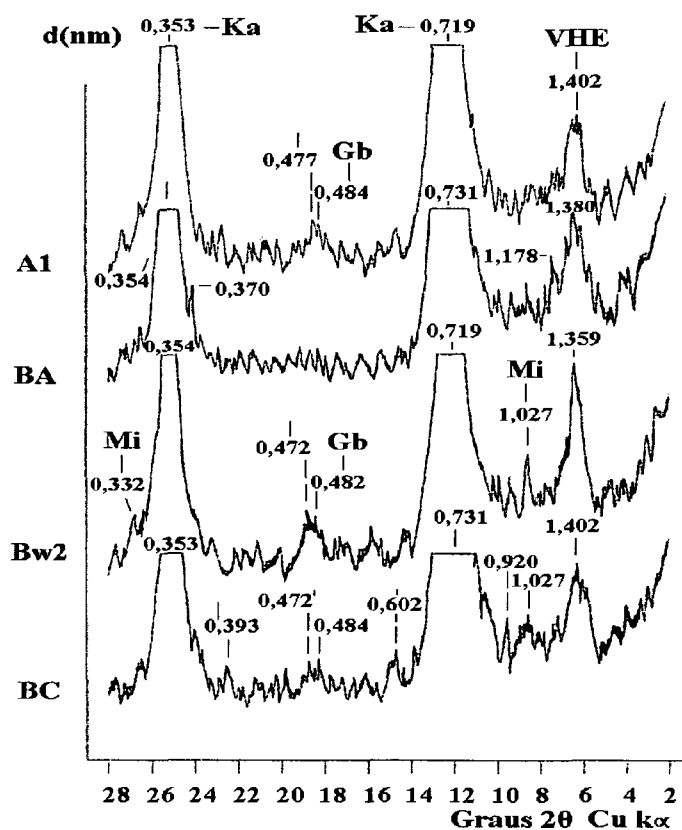
Nos tratamentos K 25°C (Figura 20) e Mg glicol (Figura 21), os picos da VHE aumentam sua intensidade com a profundidade, salvo no horizonte BC. O grau de preenchimento da VHE no perfil aumenta ligeiramente com a profundidade, salvo o BA. O grau de preenchimento entrecamadas da VHE no perfil é praticamente uniforme e relativamente elevado com a profundidade, evidenciando o grau de desenvolvimento elevado em que se encontra o solo.

Ambientes intensamente lixiviados, com saturação por Al alta e pH baixo, são comumente responsáveis pela intemperização da Mi, através da retirada do K das entrecamadas e entrada do Al. A VHE é muito estável, pois o Al mantém as entrecamadas muito firmemente unidas, não permitindo a entrada de outros cátions e sua conseqüente alteração.

No perfil os picos da Ka nos tratamentos K 25°C (Figura 20) e

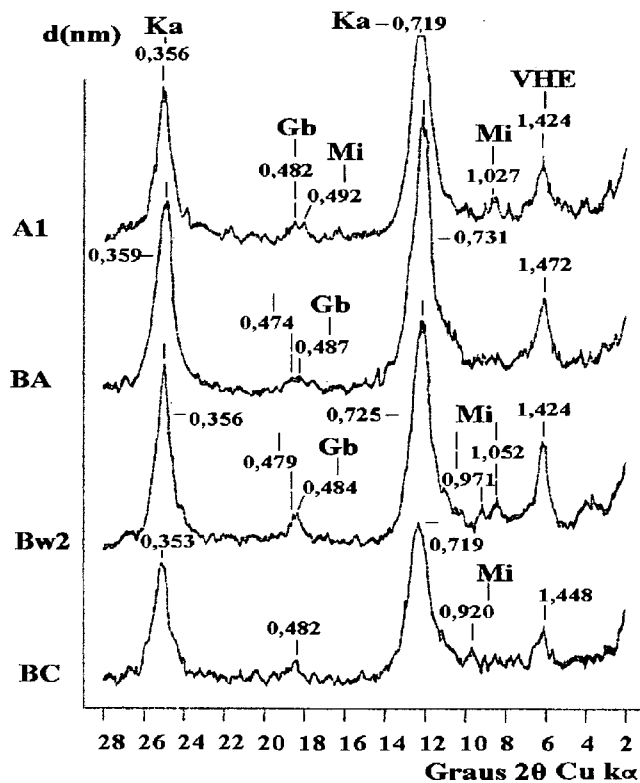
Mg glicol (Figura 21), apresentam tendência a diminuir ligeiramente a intensidade com a profundidade, salvo no horizonte BA. Ademais, a ATD (Figura 16) confirma que os teores da Ka em relação à Gb diminuem com a profundidade. Além disso, no tratamento Mg glicol a Largura à meia altura (LMH) dos picos (001) aumenta com a profundidade no perfil: no horizonte A1 com  $0,49^\circ 2\theta$ , no BA com  $0,59^\circ 2\theta$ , no Bw2 com  $0,55^\circ 2\theta$  e no BC com  $0,60^\circ 2\theta$ , indicando diminuição do tamanho dos cristais com ela.

No perfil, os picos da Gb nos tratamentos K 25°C (Figura 20) e Mg glicol (Figura 21), apresentam ligeira tendência a aumentar a intensidade com a profundidade. Em adição, o termograma mostra que os teores da Gb aumentam com a profundidade em relação à Ka: no horizonte A1 e BA com 4%, no Bw2 com 14% e no BC com 17% (Figura 16). Todavia a seqüência normal de intemperismo é a Gb diminuir com a profundidade. Possivelmente isso se



**FIGURA 20-** Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com K (25°C) dos horizontes selecionados do Perfil 1

deve aos maiores teores de C orgânico presentes nos horizontes superficiais, que interferem na



**FIGURA 21- Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com Mg e glicolada dos horizontes selecionados do Perfil 1**

cristalização da Gb. Nos horizontes A1 e BA, o C orgânico impede e/ou retarda a cristalização da Gb, enquanto em profundidade, com o decréscimo do C orgânico os teores da Gb aumentam. HSU (1989, p. 354) em síntese de laboratório, encontrou ânions orgânicos interferindo na cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ; a intensidade da interferência variava com o tipo (e quantidade) de ácido orgânico e com o pH.

Ademais, a temperatura de decomposição da Gb aumenta com a

profundidade: no horizonte A1 e BA é  $333^\circ\text{C}$ ; no Bw2 é  $340^\circ\text{C}$  e no BC é  $352^\circ\text{C}$  (Figura 16).

Isso reforça a premissa de que a sua cristalinidade aumenta com a profundidade.

No perfil a presença da Mi é detectada com o tratamento K  $25^\circ\text{C}$  (Figura 20) nos horizontes Bw2 e BC e com o tratamento Mg glicol (Figura 21) nos horizontes: A1, Bw2 e BC. A Mi no perfil apresenta picos de intensidade muito baixa e não mostra tendência de distribuição com a profundidade, o que provavelmente se deve ao avançado estágio de intemperismo em que se encontra o perfil, em que praticamente toda a Mi já foi intemperizada, atingindo uniformidade de alteração com a profundidade.

A DRX (Figura 22) mostra a presença de óxidos de Fe cristalinos na fração argila, goethita (Gt) e hematita (Hm). De acordo com SCHWERTMANN e TAYLOR (1989, p. 398),

em regiões tropicais e subtropicais a associação da Gt e da Hm é muito comum.

A Gt é identificada nos horizontes A1 e BA pelo pico 0,418 nm, e nos horizontes Bw2 e BC pelo pico 0,416 nm (Figura 22). Esses picos (110) são os que apresentam intensidade maior em relação aos demais. No horizonte A1 aparece um pico duplo, em que o reflexo 0,269 nm é decorrente da presença conjunta da Gt/Hm e o 0,272 nm à Hm. Igualmente ocorre

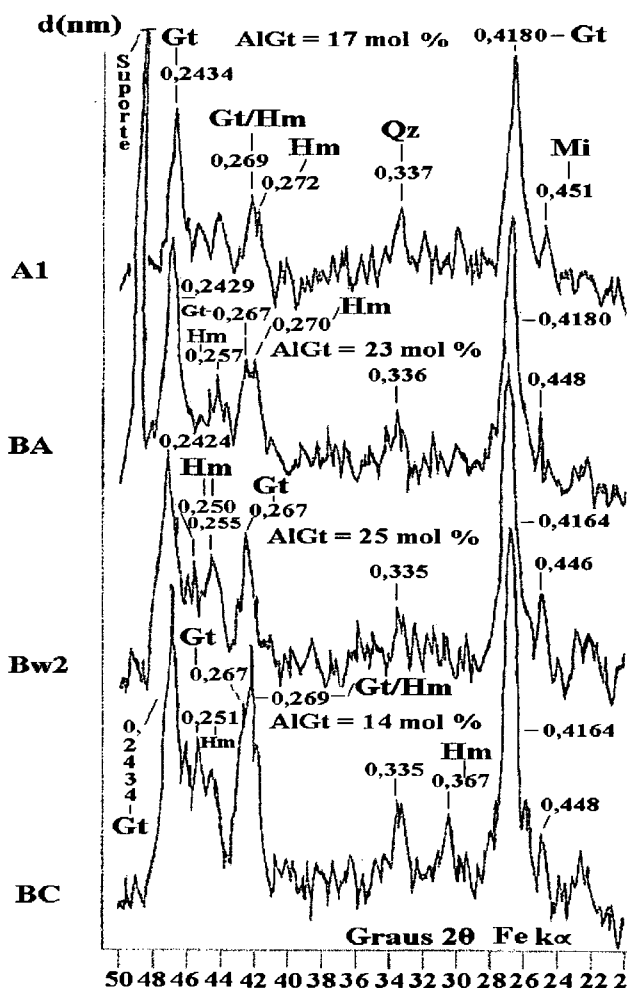


FIGURA 22-Difratogramas de raios-X dos óxidos Perfil 1

um pico duplo no horizonte BA, em que o reflexo 0,267 nm se deve à presença da Gt e o 0,270 nm à Hm. Em adição, o pico 0,267 nm da Gt também aparece nos horizontes Bw2 e BC; e no horizonte BC também aparece o pico 0,269 nm, indicando a coexistência da Gt/Hm. Ademais, em todo o perfil aparece o pico 0,243 nm da Gt.

Nos horizontes BA, Bw2 e no BC, a Hm é identificada pelos respectivos picos: 0,257 nm; 0,255 nm, 0,250 nm; e 0,367 nm, 0,251 nm (Figura 22).

No perfil a Gt aumenta (Figura 22) a quantidade com a profundidade, pois há intensificação dos picos com ela. Ademais, os teores do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  também aumentam com a profundidade (salvo BA): no horizonte A1 com 10,44%, no BA com 10,38%, no Bw2 com 10,52% e no BC com 15,01% (Quadro 1), o que confirma o aumento dos óxidos de Fe cristalinos em direção à base do perfil.



A LMH dos picos (110) da Gt, mantém-se praticamente constante com a profundidade, com valor de  $0,50^\circ 2\theta$  (Figura 22), indicando que o tamanho dos cristais é praticamente constante com ela, salvo no horizonte BA, que diminui para  $0,40^\circ 2\theta$ .

A Hm também aumenta (Figura 22) com a profundidade, pois aumentam a intensidade e o número de picos com ela. Ademais, com a profundidade há intensificação da cor vermelha, o que confirma o aumento da Hm. De acordo com SCHWERTMANN e TAYLOR (1989, p. 400), com a profundidade diminuem os teores de C orgânico, favorecendo à formação da Hm. Isso sugere que com a profundidade aumenta a drenagem do perfil.

A rigor, a Gt é o óxido de Fe predominante no perfil, devido a intensidade maior e ao número maior dos seus picos, acompanhada por teores baixos da Hm.

Além disso, os horizontes Bw2 e BC apresentam cores vermelho-amarelados no matiz 5 YR (Quadro 1), demonstrando correspondência da cor com a mineralogia: coexistência da Gt e da Hm. Em que pese a dominância da Gt, os teores menores da Hm têm superior poder de pigmentação, imprimindo características mais aproximadas do vermelho.

O Perfil 1 apresenta Gt com elevada substituição por Al, que aumenta com a profundidade (salvo BC): o horizonte A1 com 17 mol %, o BA com 23 mol %, o Bw2 com 25 mol % e o BC com 14 mol % (Figura 22).

A presença da Gt com elevada substituição por Al no Perfil 1, se deve ao pedoambiente subtropical intemperizado, lixiviado, ácido e álico. KÄMPF e DICK (1984, p. 183) observaram em ambiente pedogenético análogo, Campos de Cima da Serra no RS, à presença da Gt com elevada substituição por Al (25 mol %). CURI *et al.* (1984, p. 269) também encontraram, na Encosta Superior do Nordeste no RS, à presença da Gt com elevada substituição por Al (21 mol %). SCHWERTMANN e TAYLOR (1989, p. 387) afirmam que o grau de substituição por Al na Gt, reflete diferentes ambientes pedogenéticos.

O predomínio da Gt com elevada substituição por Al no Perfil 1 (930 m) reflete, a rigor, as condições do pedoambiente da Serra do Mar, nessa altitude: umidade elevada, temperatura relativamente baixa e teor de C orgânico elevado nos horizontes superficiais.

Em suma, o pedoambiente altimontano údico mésico favorece a formação da Gt. A concentração de teores médios do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  no perfil está relacionada à natureza do material de origem (migmatito), e também com o pedoambiente úmido, mas de drenagem livre, que permite a permanência do Fe no solo.

Os teores do Fe cristalino no perfil são significativos, atingindo 15,01% de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  (Quadro 1) no horizonte BC, indicando que o perfil apresenta teores médios de óxidos de Fe.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  nos horizontes A1, BA, Bw2 e BC é, respectivamente, 0,90; 0,79; 0,76; e 0,94 (Quadro 1); indica que a maioria do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  está na forma livre, não associado aos silicatos: na forma de óxidos de Fe.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  nos horizontes A1, BA, Bw2 e BC é, respectivamente, 0,07; 0,03; 0,03; e 0,02 (Quadro 1), indicando que a maioria dos óxidos de Fe se apresenta na forma cristalina e não na forma de baixa cristalinidade.

Como resultado, a maioria do Fe se encontra livre dos silicatos, isto é, na forma de óxidos de Fe e predominantemente na forma cristalina, confirmando o grau de intemperismo elevado, em que se encontra o perfil.

O  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}$  se apresenta mais elevado nos horizontes A1, A2 e AB, respectivamente, 0,74%; 0,81%; e 0,61% (Quadro 1) que apresentam os teores de C orgânico mais elevado, e assume no restante do perfil valores  $< 0,32\%$  (salvo Bw3).

Os teores menores de Fe se encontram contidos na matéria orgânica, conforme pode ser observado pelos teores baixos do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{P}}$  nos horizontes A1, BA, Bw2 e BC, respectivamente 0,40%; 0,06%; 0,02%; e 0,01% (Quadro 1).

Os teores do  $Al_2O_3$  se apresentam baixos ( $< 2\%$ ) (Quadro 1) em todo o perfil, indicando teores baixos das formas de baixa cristalinidade.

Em todo o perfil aparece um pequeno pico da Mi, a saber: 0,451 nm no horizonte A1, 0,448 nm no BA, 0,446 nm no Bw2 e 0,448 nm no BC (Figura 22), confirmando os teores baixos encontrados na fração argila desferrificada. A persistência da Mi após o tratamento de concentração dos óxidos mostra a sua alta resistência à decomposição.

Em todo o perfil aparece um pico de intensidade baixa do quartzo (Qz): no horizonte A1 com 0,337 nm, no BA com 0,336 nm, no Bw2 com 0,335 nm e no BC com 0,335 nm (Figura 22), confirmando os teores baixos encontrados na fração argila desferrificada. O Qz também persiste após o tratamento de concentração dos óxidos, devido a sua elevada resistência à decomposição.

De acordo com Descrição Mineralógica Quantitativa (C), na fração areia predomina o quartzo hialino, que diminui com a profundidade: no horizonte Bw1 com 85%, no Bw2 com 80% e no Bw3 com 75%; secundariamente, as concreções ferruginosas não atraídas, que aumentam com a profundidade nos horizontes Bw, respectivamente em 10%, 13% e 16%; por último, os minerais ferruginosos atraídos, que aumentam com a profundidade nos horizontes Bw, respectivamente em 5%, 7% e 9%. Ocorrem, ainda, traços da Mi alterada.

Em resumo, a Descrição Mineralógica Quantitativa (C) da fração areia total nos horizontes Bw mostra ausência dos minerais facilmente intemperizáveis. Esses horizontes apresentam predominantemente quartzo hialino com teor médio de 80%, secundariamente concreções ferruginosas não atraídas (13%), e, por último, concreções ferruginosas atraídas (7%). As concreções ferruginosas atraídas pelo magneto sugerem a presença de alguma magnetita.

Em suma, considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, firmam-se os principais constituintes da fração argila: predomina a Ka, secundariamente Gt, e a seguir a VHE. Depois menores teores de Gb e por último vestígios da Mi e do Qz.

As DRX das frações areia grossa (Figura 23) e areia fina (Figura 24), confirmam o predomínio do Qz em todos os horizontes, através da intensidade maior e número maior dos seus picos. Também aparecem em todos os horizontes picos de intensidade baixa do feldspato (Fd) e de intensidade mais baixa da Mi.

O Perfil 1 apresenta grau de intemperismo elevado, evidenciado pelas suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. As características morfológicas mostram o desenvolvimento da cor, da espessura e da estrutura e também a pouca diferenciação dos horizontes; as características físicas pela textura argilosa, pelo grau de floculação elevado, pela ausência de fragmentos da rocha e pela relação silte/argila baixa; as características químicas pelo Ki baixo, pela CTC mineral baixa, pela relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  elevada que mostra o predomínio de óxidos de Fe livre, pela relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  muito baixa que mostra a elevada cristalinidade dos óxidos de Fe; as características mineralógicas pelos minerais predominantes na fração argila: Ka, Gt e VHE (pela uniformidade no perfil do grau de preenchimento das entrecamadas) e pela ausência de minerais facilmente intemperizáveis na fração areia.

Considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, colocam-se as prováveis seqüências de transformações mineralógicas do Perfil 1:

- a) a seqüência dominante: feldspato  $\Rightarrow$  caulinita;
- b) a seqüência secundária: mica  $\Rightarrow$  VHE;
- c) a seqüência seguinte: feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita.

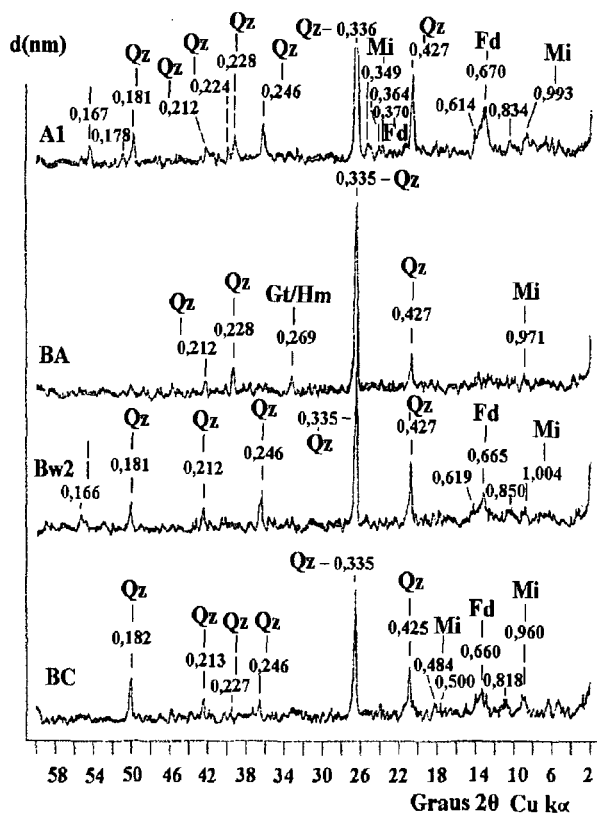


FIGURA 23 - Difratoigramas de raios-X da fração areia grossa dos horizontes selecionados do Perfil 1

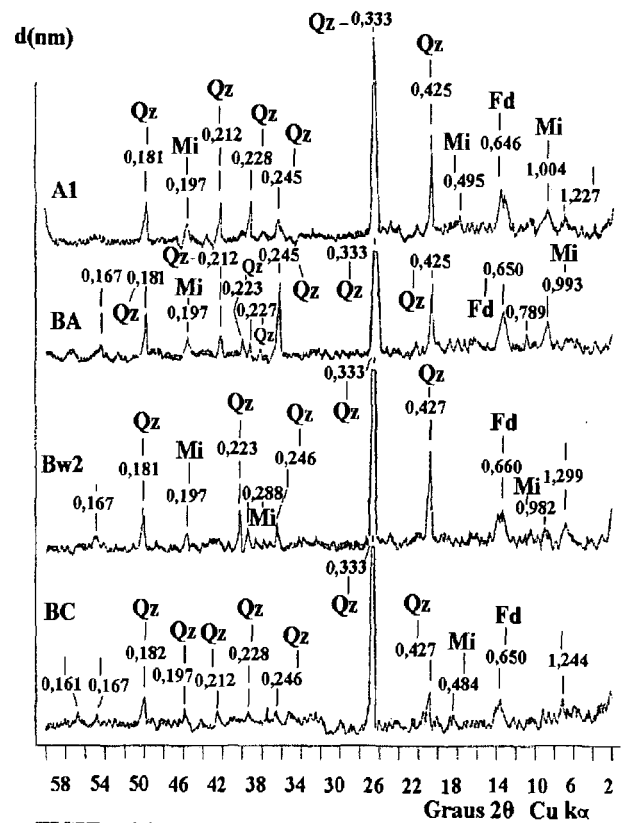


FIGURA 24 - Difratoigramas de raios-X da fração areia fina dos horizontes selecionados do Perfil 1

## 5.2 PERFIL 2

### 5.2.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO

O Perfil 2 (Figura 4) encontra-se a 1.035 m de altitude e repousa na superfície geomórfica relacionada ao pediplano Pd<sub>2</sub>, na porção média de uma encosta curta. O relevo local é montanhoso, com cerca de 45% de declividade. Apresenta cobertura vegetal primária de floresta ombrófila densa alto-montana ou subtropical perúmida altimontana, cujas árvores apresentam mais de 4 m de altura, conforme a Descrição Geral (A).

A sua espessura é superior a 151 cm, provavelmente não ultrapassando os 200 cm; assim enquadra-se na classe de profundidade, profundo ( $> 100$  e  $\leq 200$  cm) e apresenta a seguinte seqüência de horizontes: A1-A2-A3-A4-A5-A6-Bt-Cr. O horizonte A é o mais espesso, com 125 cm, cores muito escuras (preto), estrutura granular (salvo A3), consistência úmida friável; nele a classe geral de textura varia com a profundidade: no A1 é argilosa, no A2 e A3 é siltosa, no A4 é média cascalhento, no A5 e A6 é média pouco cascalhento. O horizonte Bt tem espessura de 16 cm, distinguindo-se morfologicamente do horizonte A pela cor mais clara (bruno-escuro a bruno-7,5 YR 4/4), pela estrutura em blocos subangulares, pela consistência úmida firme e pela classe geral de textura argilosa cascalhento. O horizonte Cr é bem característico, apresentando fragmentos da rocha em processo de decomposição, designado pelo sufixo r (rocha branda ou saprolito); a classe geral de textura é média cascalhento; distingue-se dos demais horizontes pela coloração clara (bruno-amarelado-10 YR 5/6), característica herdada da rocha, de acordo com a Descrição Morfológica (B).

Na amostra total (TFSA+cascalho+calhau) (Quadro 2), a partir do horizonte A1 inicia o aparecimento de quantidades baixas [ $x (< 1\%)$ ] de cascalhos, que chegam a 3% no horizonte

A3, ocorrendo até aí uma desintegração quase total da rocha, representada por um teor médio de terra fina de 98%, demonstrando que o intemperismo é mais intenso na superfície, pois com a profundidade os remanescentes grosseiros (cascalho) aumentam, atingindo o máximo no horizonte Cr com 33% e a terra fina o mínimo com 65%.



FIGURA 4 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 2

A partir do horizonte A4 inicia o aparecimento de quantidades mais altas ( $\geq 8\%$ ) de cascalhos, que variam de pouco cascalhento ( $\geq 8$  e  $< 15\%$ ) a cascalhento ( $\geq 15$  e  $< 50\%$ ). Os horizontes com caráter cascalhento são o A4 (17%), o Bt (18%) e o Cr (33%); os com caráter pouco cascalhento são o A5 (11%) e o A6 (9%). Do horizonte A4 em diante também ocorrem calhaus, porém em proporções bem menores, variando de valores baixos: [x ( $< 1\%$ )] a 3%. Todo esse material grosseiro apresenta constituição riolítica.

A litologia, ao que tudo indica, é representada por riólito, pois nas proximidades da área a rocha aflora e fica evidente em todo o perfil pela ocorrência de calhaus e cascalhos da rocha em apreço. A princípio, o material originário (horizonte Cr) é produto de alteração do riólito *in situ* e, conseqüentemente, o solo é autóctone.

As areias apresentam valores muito próximos na maioria dos horizontes, com os teores da areia grossa (Ag) ligeiramente superiores aos da areia fina (Af) (Figura 5); contudo, nos horizontes superficiais A1 e A2, o teor da Ag é dobro do da Af.

A distribuição da Ag até o horizonte A4 é praticamente constante e da Af com aumentos gradativos; todavia

nos horizontes A5 e A6 os valores da Ag e Af duplicam, e no horizonte Bt diminuem abruptamente, voltando a apresentar a tendência inicial.

A composição granulométrica (Figura 6) revela a supremacia da fração silte em todo o perfil em relação às demais, fato incomum na maioria dos solos brasileiros. Os teores de silte

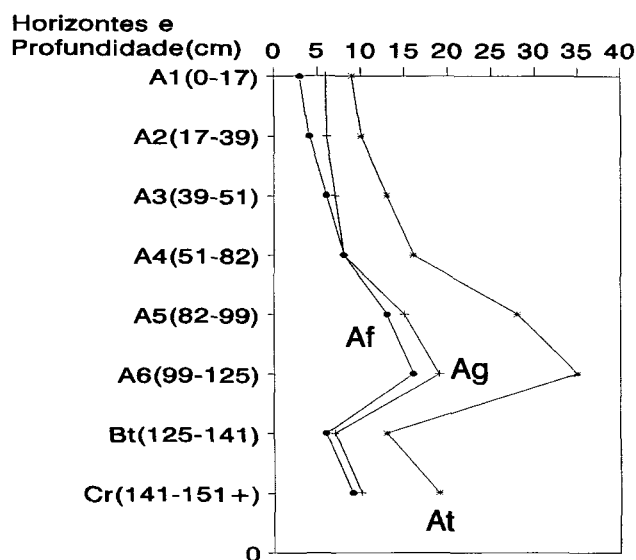


FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 2



são expressivos no perfil, com uma média de 55%, apresentando conteúdo máximo no horizonte A3 com 61% e mínimo no Bt com 50%. Todo o perfil apresenta distribuição praticamente constante de silte.

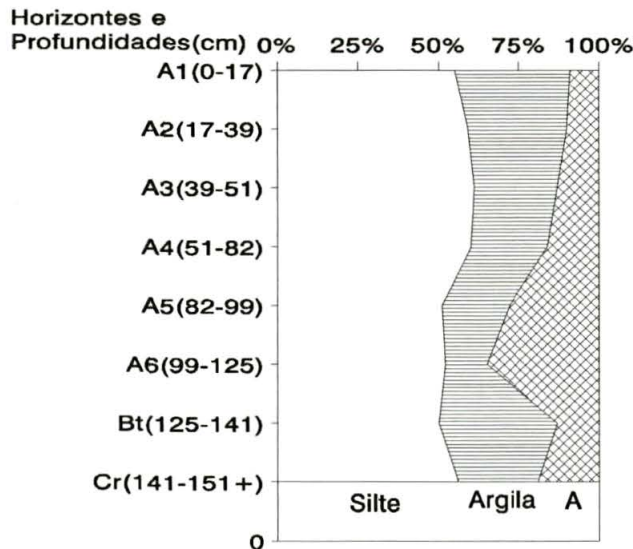


FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2

No horizonte A6 o valor da fração areia (A) é de 35% e o da argila é de 13% (Figura 6); todavia no horizonte Bt esses valores praticamente se invertem para 13% e 37%, respectivamente. Isso possivelmente indica que no horizonte Bt ocorre uma intemperização direta dos minerais da fração areia para a argila.

A relação silte/argila é de 1,35 (Quadro 2) no horizonte Bt, o que traduz

os teores elevados de silte, indicando um processo evolutivo não muito avançado. Igualmente, o caráter cascalhento e pouco cascalhento reforça essa conjectura.

A mineralogia do riólito é formada predominantemente por mineral facilmente intemperizável, conforme CASTRO [1993, p. 7-9 (anexos)]: 62% de feldspato (43% de ortoclásio) e 36% de quartzo. A maioria do quartzo está na fração areia e/ou silte devido a sua elevada resistência ao intemperismo e a maioria do feldspato por ser um mineral com relativa facilidade para intemperizar-se e aliado ao clima úmido, já deveria ter sofrido intemperismo químico e estar na fração argila; assim, a fração argila deveria predominar e não a fração silte, como ocorre.

O  $\Delta pH$  (Quadro 2) apresenta-se negativo em todo perfil, expressando o predomínio das cargas negativas e apontando provavelmente para o predomínio dos argilominerais e da matéria orgânica em relação aos conteúdos de óxidos de Fe.

A soma de bases (S) e os teores de P são muito baixos, respectivamente,  $\leq 0,7$  cmol/kg de solo e  $\leq 5$  mg/kg de solo (Quadro 2) no perfil, traduzindo a sua extrema pobreza em nutrientes.

A acidez não trocável (H) (Quadro 2) diminui com a profundidade, juntamente com o C orgânico: com 22,8 cmol/kg de solo no horizonte A1, e declina para 2,7 cmol/kg de solo no Cr. Isso se deve ao fato dos horizontes superficiais apresentarem, além do H dos grupos oxidrila da caulinita e dos óxidos de Fe e Al, também o H dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica.

A CTC potencial é alta (Quadro 2) em todo o horizonte A, em decorrência dos teores elevados de C orgânico.

A CTC, após correção para carbono no horizonte Bt, apresenta valor de 3,0 cmol/kg de argila (Quadro 2), o que traduz o predomínio de minerais de atividade baixa na fração argila.

No horizonte Bt o valor do  $K_i$  é de 0,93 (Quadro 2), o que se deve provavelmente ao predomínio de argilominerais 1:1.

Através da interpretação conjunta dos valores do  $K_i$  e da CTC mineral, pode-se prever que a mineralogia da fração argila está apontando para a presença de minerais de baixa atividade, tal como a caulinita e outros.

A composição mineralógica do material de origem desempenha importante papel na determinação do conteúdo de nutrientes do solo. Atribuiu-se o baixo nível de bases e de fósforo (Quadro 2) do solo à natureza pobre em nutrientes do material de origem, derivado do riólito, cuja composição mineralógica é rica em minerais essenciais siálicos (Si e Al), principalmente feldspato e secundariamente quartzo. Ademais, o riólito é rico em feldspatos potássicos, mas o K-trocável do solo é muito baixo ( $\leq 0,09$  cmol/kg solo). A partir disso,

infere-se que o K já foi liberado do feldspato e na forma disponível foi eliminado do sistema em decorrência da lixiviação.

O caráter álico ( $m = 85\%$ ) (Quadro 2) no horizonte Bt deve-se, por um lado, à natureza pobre em bases do material de origem e, por outro, ao clima úmido. Apesar da existência da interação dos fatores preditos, o clima é o mais importante deles no condicionamento da fertilidade dos solos altimontanos, pois mesmo um material de origem rico em bases produziria solos pobres em virtude do volume elevado de água excedente da região em apreço. Nesse sentido, a vegetação cumpre papel importante, atenuando o efeito do relevo, retendo a água e permitindo a sua infiltração e lixiviação dos nutrientes, consumando assim o processo pedogenético de perda.

A Serra do Mar apresenta um ecossistema peculiar em relação às demais regiões fisiográficas do Estado do Paraná, determinado tanto pela sua posição nas latitudes médias na borda do oceano Atlântico, como pelo seu relevo montanhoso a escarpado e pela altitude elevada, que conferem papel muito importante no condicionamento climático dessa região.

Os conteúdos altos de C orgânico do Perfil 2 atingem uma espessura razoável (125 cm), formando o horizonte A. A conservação do C orgânico deve-se, via de regra, à precipitação pluviométrica, que sobrepuja a evapotranspiração em todos os meses do ano, e também às temperaturas mais baixas. Esses dois componentes do clima são condicionados indiretamente pelas altitudes elevadas.

As condições ambientais altimontanas preditas favorecem que o material orgânico depositado à superfície, tal como folhas, cascas de árvores, galhos, talos, raízes mortas, sofra ataque microbiano, determinando transformações biológicas, de forma que não se consegue mais determinar o vegetal precursor do material, que passa apresentar coloração muito escura. O acúmulo de material orgânico sobrepuja a taxa de decomposição, pois, apesar de haver transformação biológica, ao mesmo tempo, há preservação de níveis consideráveis de

C orgânico, demonstrando que a velocidade de decomposição é módica, precisando de um tempo de duração para se efetivar.

Se por um lado, a floresta subtropical perúmida altimontana apresenta uma produtividade relativa de biomassa para permitir o seu acúmulo, por outro lado, as condições climáticas determinam uma velocidade de decomposição módica, contribuindo para a preservação dos níveis de carbono. A princípio, atua o processo pedogenético de adição pela vegetação de material orgânico à superfície, desempenhando relevante papel, a partir do qual é desencadeado o de decomposição biológica, após o que ocorre translocação e incorporação de C orgânico no interior do perfil.

A área montanhosa expressa fragilidade na conservação de seus solos. Nesse sentido a vegetação cumpre papel relevante como barreira física, na proteção contra a erosão e na conseqüente manutenção do ecossistema; além disso, constitui barreira protetora também contra a ação do vento e da radiação, contribuindo para a permanência da umidade e da temperatura mais baixa do solo.

O Perfil 1 (930 m) e o Perfil 2 (1.035 m) estão próximos, isto é, distanciados um do outro por aproximadamente 2 km, mas situados em diferentes altitudes. Como resultado, observa-se um aumento relativo nos conteúdos de C orgânico e na espessura do horizonte A, com o aumento da altitude. A variação da altitude redundando, portanto, na determinação de tipos diferentes de horizontes A, respectivamente moderado e húmico.

Apesar da ausência de dados sobre a temperatura do solo, foi feita uma estimativa do regime térmico baseada na temperatura média do ar calculada por MAACK (1968, p. 98). O mesmo vale para o regime hídrico do solo, que foi estimado em função do regime pluviométrico.

Nos Perfis 2, 3 e 4, o regime hídrico do solo é virtualmente o perúdico (L. *per* = por todo tempo; L. *udus* = úmido). Na Serra do Mar-PR nas altitudes > 1.000 m, provavelmente predomina o regime hídrico perúdico.

O regime hídrico perúdico é considerado o extremo de umidade; se caracteriza por ocorrer em climas em que a precipitação excede a evapotranspiração em todos os meses da maioria dos anos; a água move-se através do solo em todos os meses do ano, de acordo com a chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 20-21).

Nos Perfis 2, 3 e 4, o regime térmico do solo é virtualmente o mésico.

### 5.2.2 CLASSIFICAÇÃO

A classificação do Perfil 2 foi realizada de acordo com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 11) e EMBRAPA (1988b, p. 17-18); e com a Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 43, 263-264) no nível de Grande Grupo.

O horizonte A apresenta espessura razoável (125 cm) (Quadro 2), constituindo 83% do total do perfil descrito, e suas cores são muito escuras (valor e croma < 3,5) em decorrência dos teores elevados de C orgânico, com valor máximo de 7,97% e mínimo de 4,75%. Em virtude de possuir todas as características para horizonte A proeminente e ainda apresentar desenvolvimento maior, expresso pelo teor alto de C orgânico aliado a cor mais escura e espessura maior, é classificado como A húmico.

Convém salientar que o horizonte A húmico é característico das regiões serranas, em virtude das condições altimontanas proporcionarem temperaturas mais baixas e maiores precipitações que conservam o C orgânico dos solos em relação às demais regiões fisiográficas do Estado do Paraná.

O horizonte B possui 16 cm (Quadro 2) de espessura, satisfazendo às condições nesse aspecto para B textural: tem mais de 1/10 (12,5 cm) da soma da espessura dos horizontes sobrejacentes. A rigor, a característica distintiva que identifica o Bt no perfil é a presença da mudança textural abrupta. O horizonte A6 (adjacente ao Bt) apresenta < 20% de argila, tem 13%, nesse caso o horizonte B deve apresentar, no mínimo, o dobro de argila, o qual cumpre essa condição apresentando 37% de argila. Como não existe horizonte AB, a distância entre o A6 e Bt é zero, o que vem ao encontro da distância vertical requerida para mudança textural abrupta:  $\leq 8$  cm.

A acumulação de argila no horizonte Bt pode ter sido por iluviação e/ou formação *in situ*. Para definir a gênese desse horizonte é necessária a realização de estudos micromorfológicos através de lâmina delgada.

Via de regra, a cor é uma das características distintivas de maior relevância, que conjugada aos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{S}}$ , define a subclasse de podzólico. O horizonte Bt apresenta 2,51% de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{S}}$  e a sua cor é bruno-escuro a bruno (7,5 YR 4/4) (Quadro 2). De acordo com os limites de cor arbitrados para as subclasses de podzólicos, o Perfil 2, a princípio, por apresentar cor intermediária, pode ser classificado tanto como Podzólico Bruno-Acinzentado (PB) como por Podzólico Amarelo (PA).

Todavia, para PB, a cor bruno-escuro é peculiar aparecer no topo do B e freqüentemente desenvolve policromia em profundidade (bruno-amarelado ou bruno-avermelhado), o que não é o caso. O PA está relacionado a conteúdos baixos de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{S}}$  (< 7%) e admite a cor bruno no limite inferior da sua classe de cor, o que vem ao encontro das características apresentadas pelo Perfil 2. O horizonte Bt apresenta teor suficiente de  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{S}}$  para PA, que é de 2,51%, e apresenta a cor bruno-escuro a bruno, que não é a modal para PA, mas é uma coloração intermediária com a cor bruno, que é permitida para PA.

Em adição, o Perfil 2 preenche às demais características distintivas subordinadas para PA, que seguem: a atividade da argila exigida é um tanto baixa ( $< 13$  cmol/kg de argila), e o solo apresenta 3 cmol/kg de argila; o Ki exigido é  $< 2,2$  e apresenta valor de 0,93; a saturação por bases (V) exigida é baixa e apresenta 6%. Em suma, o Perfil 2 cumpre todas as características distintivas exigidas para PA.

Por outro lado, o PB é moderadamente drenado, pouco profundo, mais tipicamente de argila de atividade alta e com horizonte A moderado. A feição muito peculiar desse solo é a presença de horizonte A com coloração muito clara quando seco (bruno-acinzentado), mesmo possuindo teores altos de C orgânico, tornando-se, porém, muito escuro quando úmido. O horizonte B tem normalmente estrutura forte em blocos subangulares; apresenta cerosidade moderada a forte e geralmente abundante; e tem usualmente tendência a avermelhamento na sua porção inferior (OLMOS e CAMARGO, 1982, p. 25-28). A assembléia de características para PB, não aparece no Perfil 2.

De acordo com a classificação em vigor o Perfil 2 pode ser classificado tanto como PB como PA. Apesar disso, levando em consideração que o PA é derivado de sedimentos referidos aos Grupos Barreiras e congêneres, ou coberturas correlatas a esses sedimentos terciários que estão relacionado a um ambiente de formação distinto da Serra do Mar, a classificação do Perfil 2 é Podzólico Bruno-Acinzentado Álico argila de atividade baixa abrupto A húmico textura média pouco cascalhento/argilosa cascalhento. Vale ressaltar, que o ambiente de formação do solos não é característica distintiva para determinar as classe de solos na classificação em vigor.

No levantamento de solos de reconhecimento do PR (EMBRAPA, 1984) não foi identificado PA e em relação ao Podzólico Bruno-Acinzentado há menção da sua ocorrência, mas não consta descrição de perfil. Ademais, não foi realizada descrição de perfil na região da Serra do Mar, devido ao caráter e ao nível de generalização do levantamento. Vale salientar

que da subclasse de podzólicos foram descritos e classificados somente Podzólicos Vermelho-Amarelos.



QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 2

Horizonte		Cor (úmido)	Frações da amostra total (%)			Composição granulométrica (%)				silte/ argila
Símbolo	Profundi- dade (cm)		Calhau 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte (mm) 0,05-0,002	Argila < 0,002 mm	
A1	00-17	10 YR 2/1	0	x * <sup>1</sup>	100	6	3	55	36	1,53
A2	17-39	10 YR 2/1	0	2	98	6	4	59	31	1,90
A3	39-51	5 YR 2,5/1	0	3	97	7	6	61	26	2,35
A4	51-82	7,5 YR N2/.	1	17	82	8	8	60	24	2,50
A5	82-99	7,5 YR N2/.	0	11	89	15	13	51	21	2,43
A6	99-125	7,5 YR N2/.	x	9	91	19	16	52	13	4,00
<b>Bt</b>	<b>125-141</b>	<b>7,5 YR 4/4</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>79</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>1,35</b>
Cr	141-151+	10 YR 5/6	2	33	65	10	9	56	25	2,24

pH (1:2,5)			Complexo sortivo (cmol/kg solo)								V (%)	m (%)	P (mg/kg)	C (%)
H <sub>2</sub> O	KCl N	ΔpH	Ca	Mg	K	S * <sup>2</sup>	Al * <sup>3</sup>	H+Al * <sup>4</sup>	H * <sup>5</sup>	CTC p * <sup>6</sup>				
4,6	3,9	-0,7	0,3	0,3	0,09	0,7	6,4	29,2	22,8	29,9	2	90	5	7,97
4,7	4,1	-0,6	0,3	0,1	0,02	0,4	4,9	18,9	14,0	19,3	2	92	2	6,94
5,4	4,4	-1,0	0,3	0,1	0,01	0,4	2,9	17,7	14,8	18,1	2	88	<1	7,02
5,5	4,5	-1,0	0,3	0,1	0,01	0,4	2,5	18,1	15,6	18,5	2	86	1	7,29
5,5	4,5	-1,0	0,1	0,3	0,01	0,4	2,4	15,8	13,4	16,2	2	85	<1	4,85
5,5	4,5	-1,0	0,2	0,2	0,01	0,4	2,3	15,5	13,2	15,9	3	85	<1	4,75
<b>5,3</b>	<b>4,3</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>0,4</b>	<b>2,3</b>	<b>5,9</b>	<b>3,6</b>	<b>6,3</b>	<b>6</b>	<b>85</b>	<b>&lt;1</b>	<b>1,15</b>
5,3	4,3	-1,0	0,3	0,1	0,01	0,4	2,2	4,9	2,7	4,3	9	84	<1	0,32

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) *7 e as razões							% de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *7 e o índice Ki					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	SiO <sub>2S</sub>	Ki	Al <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>
2,81	2,61	2,16	0,97	0,60	0,77	0,45	4,68	0,89	12,75	9,02	1,28	1,30
3,56	3,21	2,52	2,05	0,77	0,71	0,81	6,40	1,06	13,22	10,35	1,43	1,23
3,61	3,52	2,53	1,42	0,93	0,70	0,56	3,76	0,52	16,05	12,48	2,66	1,40
2,96	2,04	1,96	1,82	1,05	0,66	0,93	4,71	0,56	18,89	14,22	3,68	2,15
4,14	3,39	2,65	1,70	1,29	0,64	0,64	8,61	0,96	18,64	15,17	4,40	2,42
3,68	3,58	2,56	1,66	1,06	0,69	0,65	7,68	0,88	20,78	14,84	3,76	1,71
<b>2,96</b>	<b>2,51</b>	<b>1,63</b>	<b>0,58</b>	<b>0,13</b>	<b>0,55</b>	<b>0,35</b>	<b>9,03</b>	<b>0,93</b>	<b>22,67</b>	<b>16,46</b>	<b>1,13</b>	<b>0,40</b>
2,50	2,12	1,32	0,26	0,04	0,53	0,20	8,69	0,95	22,19	15,62	0,58	0,21

\*<sup>1</sup> x < 1 %; \*<sup>2</sup> soma de bases; \*<sup>3</sup> acidez trocável; \*<sup>4</sup> acidez potencial; \*<sup>5</sup> acidez não trocável; \*<sup>6</sup> P- potencial; \*<sup>7</sup> T- total, S- sulfúrico, D- ditionito, O- oxalato, P- pirofosfato

## A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - Nº 2

DATA - 26/04/1993

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA - PODZÓLICO BRUNO-ACINZENTADO ÁLICO argila de atividade baixa abrupto A húmico textura média pouco cascalhento/argilosa cascalhento fase subtropical perúmida altimontana relevo forte ondulado.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA - KANDIHUMULTS

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Situado a 30 km de Curitiba (do SCA-UFPR), acesso pela BR 277, entrada à esquerda antes do primeiro posto da polícia rodoviária no km 653, na Vila Miringuava em São José dos Pinhais-PR, na Serra do Mar, a 25° 44' 02" S e 49° 04' 51" W GR.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada na porção média da elevação, com cerca de 45% de declividade e sob cobertura de floresta primária

ALTITUDE - 1.035 m

LITOLOGIA - Riólito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Guaratubinha

ERA - Eopaleozóica

PERÍODO - Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos de alteração do riólito

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa

ROCHOSIDADE - Não rochosa

RELEVO LOCAL - Montanhoso

RELEVO REGIONAL - Montanhoso

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Subtropical perúmida altimontana (ou floresta ombrófila densa altimontana)

USO ATUAL - Floresta primária

CLIMA - Cfb da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR - N. L. B. GHANI e A. SANTOS FILHO

## B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0-17 cm, preto (10 YR 2/1, úmido), bruno muito escuro (10 YR 2/2, seco); franco-argilo-siltoso; moderada pequena a média granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes muitas.
- A2 17-39 cm, preto (10YR 2/1, úmido), bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); franco-argilo-siltoso; moderada média a grande granular; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes muitas.
- A3 39-51 cm, preto (5YR 2,5/1, úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco-siltoso; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes comum.
- A4 51-82 cm, preto (7,5 YR N2/., úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco-siltoso cascalhento; moderada pequena a média granular; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes comuns.
- A5 82-99 cm, preto (7,5 YR N2/., úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco-siltoso pouco cascalhento; moderada pequena a média granular; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes comum.
- A6 99-125 cm, preto (7,5 YR N2/., úmido), preto (10 YR 2/1, seco); franco-siltoso pouco cascalhento; moderada pequena a média granular; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e ondulada; raízes poucas.
- Bt 125-141 cm, bruno-escuro a bruno (7,5 YR 4/4, úmido); bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4, seco); franco-argilo-siltoso cascalhento; moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, plástico e pegajoso; transição abrupta e ondulada; raízes raras.
- Cr 141-151 cm+, bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmido); rosado (7,5 YR 7/4, seco); franco-siltoso cascalhento; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, firme, plástico e pegajoso; raízes raras.

Observação: Presença de cascalhos de riólito do horizonte A1 até o Cr. A trincheira apresentou 151 cm de profundidade.

### 5.2.3 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_{30}$

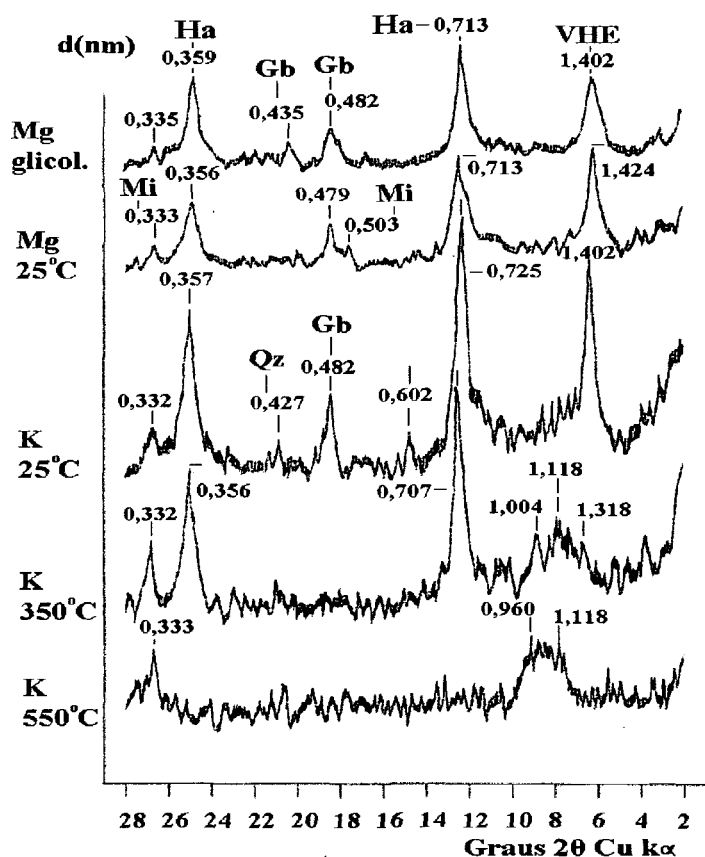


FIGURA 25 - Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte A1 do Perfil 2

No horizonte A1, o pico da VHE praticamente permanece inalterado nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, respectivamente 1,402 nm, 1,424 nm e 1,402 nm (Figura 25). Todavia nos tratamentos K 350°C e K 550°C, o referido pico sofre colapso, formando as respectivas bandas 1,004 nm a 1,318 nm e 0,960 nm a 1,118 nm.

Em consequência da estabilidade do pico 1,402 nm da VHE com o tratamento K 25°C, e de

ocorrer formação de banda somente com o aumento da temperatura, K 350°C e K 550°C, pode-se estimar um grau de preenchimento das entrecamadas relativamente elevado.

A presença da haloisita (e alguma Ka) no horizonte A1 é indicada pelos espaçamentos interplanares 0,713 nm, 0,725 nm, 0,707 nm; e 0,359 nm, 0,356 nm, 0,357 nm (Figura 25); e confirmada pelo desaparecimento dos picos com o tratamento K 550°C. A intensidade moderada dos picos traduz quantidade moderada. Ademais, o termograma indica a predominância da haloisita (Ha) com 82%, em relação à Gb com 18% (Figura 26). Além disso,

nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, a intensidade dos picos da Ha e da VHE é aproximada; os picos da Ha apresentam intensidade ligeiramente superior a dos picos da VHE, evidenciando teores moderados da Ha e relativamente moderados da VHE.

A Gb é verificada no horizonte A1 através do tratamento Mg glicol pelos picos 0,435 nm e 0,482 nm (Figura 25), e do tratamento K 25°C pelo pico 0,482 nm. O pico endotérmico da Gb é 342°C (Figura 26).

A intensidade acentuada dos picos da Gb na DRX, se considerar a sensibilidade baixa da DRX para esse mineral, significa teores relativamente moderados. Ademais, a ATD mostra que os teores da Gb são moderados em relação à Ha.

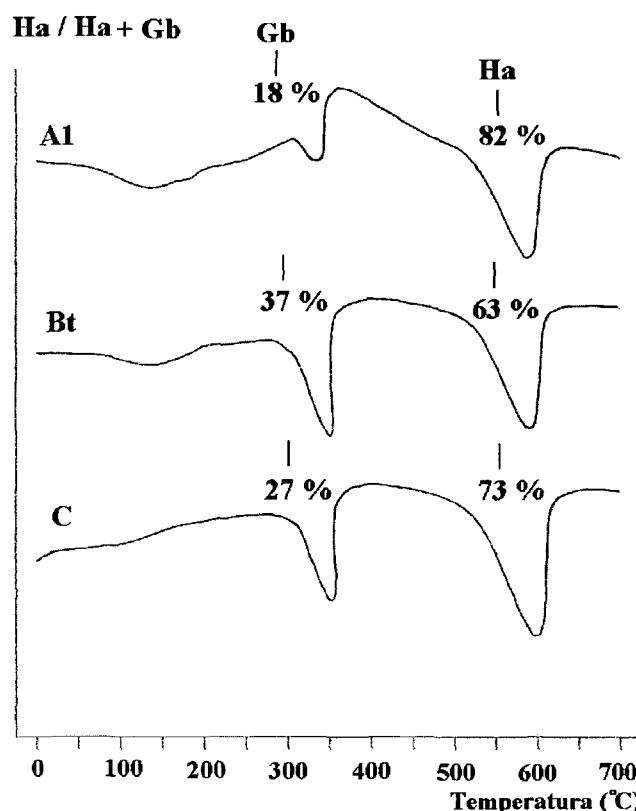


FIGURA 26 - Termogramas da fração argila desferrificada dos horizontes selecionados do Perfil 2

Em adição, a presença do pico fraco da Gb de 0,435 nm é indicativo da cristalinidade elevada. Em síntese de laboratório HSU (1989, p. 338) observou a presença do pico 0,435 nm em Gb bem cristalizada.

No horizonte A1, a Mi é identificada nos tratamentos Mg 25°C, K 25°C, K 350°C e K 550°C, pelos respectivos picos 0,503 nm, 0,333 nm; 0,332 nm; 0,332 nm; e 0,333 nm (Figura 25). Os teores da Mi são virtualmente baixos, pois os seus três picos não aparecem juntos e, ainda, têm intensidade baixa. Provavelmente a Mi é o mineral precursor da VHE, do

que se infere que a maioria da Mi se converteu em VHE pela substituição do K das entrecamadas por hidroxí-Al.

No horizonte Bt o pico 1,424 nm (Figura 27) da VHE, nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C é idêntico. Todavia, no tratamento K 25°C o referido pico sofre contração para 1,380 nm, e é acompanhado por um ombro de reflexo 1,147 nm, o que é sinal de início de desestabilização. No tratamento K 350°C formar-se a banda 1,052 nm a 1,380 nm e no tratamento K 550°C a banda é mais estreita: 0,971 nm a 1,052 nm. A magnitude das mudanças intensifica-se com o aumento da temperatura, e a desestabilização já inicia no tratamento K 25°C, sugerindo grau moderado de preenchimento das entrecamadas da VHE.

No horizonte Bt, a presença da Ha é assinalada pelos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem, respectivamente 0,719 nm, 0,707 nm, 0,713 nm; e 0,357 nm, 0,356 nm, e confirmada pelo

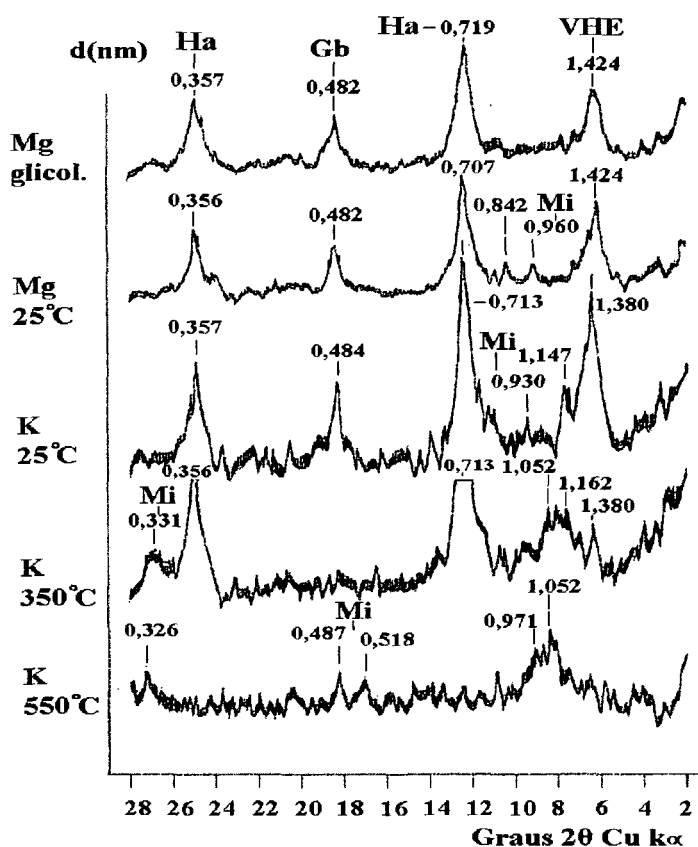


FIGURA 27- Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Bt do Perfil 2

desaparecimento dos picos com o tratamento K 550°C (Figura 27). A intensidade moderada dos picos indica moderada quantidade. Ademais, o termograma mostra que o teor da Ha sobrepaja relativamente o da Gb, respectivamente 63% e 37% (Figura 26). Em adição, a intensidade dos picos da Ha e da VHE é aproximada; os picos da Ha têm intensidade ligeiramente superior aos da VHE, indicando teor moderado da Ha e relativamente moderado da VHE.

No horizonte Bt nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C, o pico da Gb é de 0,482 nm, e no tratamento K 25°C é de 0,484 nm (Figura 27); desaparecem com o tratamento K 350°C. A intensidade acentuada do pico da Gb indica teores moderados. O pico endotérmico da Gb no horizonte Bt é 356°C (Figura 26).

A Mi é identificada no horizonte Bt nos tratamentos Mg 25°C, K 25°C, K 350°C e K 550°C, através dos respectivos picos 0,960 nm; 0,930 nm; 0,331 nm; e 0,518 nm, 0,487 nm (Figura 27). Os picos apresentam intensidade baixa e também não aparecem em todos os tratamentos, o que indica teores baixos.

No horizonte C, a VHE é identificada nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C pelos respectivos picos 1,448 nm e 1,424 nm (Figura 28). Além disso, nos tratamentos K 25°C, K 350°C e K 550°C formam-se as respectivas bandas: 1,194 nm a 1,380 nm; 1,004 nm a 1,380 nm e 1,015 nm a 1,118 nm.

A VHE no horizonte C apresenta pico de intensidade muito baixa em relação aos horizontes suprajacentes. No horizonte C, ao contrário dos horizontes A1 e Bt, a formação de banda já inicia no tratamento K 25°C, e ainda no tratamento 550°C o colapso é maior, com a formação de banda pequena. Portanto, o comportamento da VHE no tratamento K e com o aumento da temperatura permite estimar um grau de preenchimento das entrecamadas baixo.

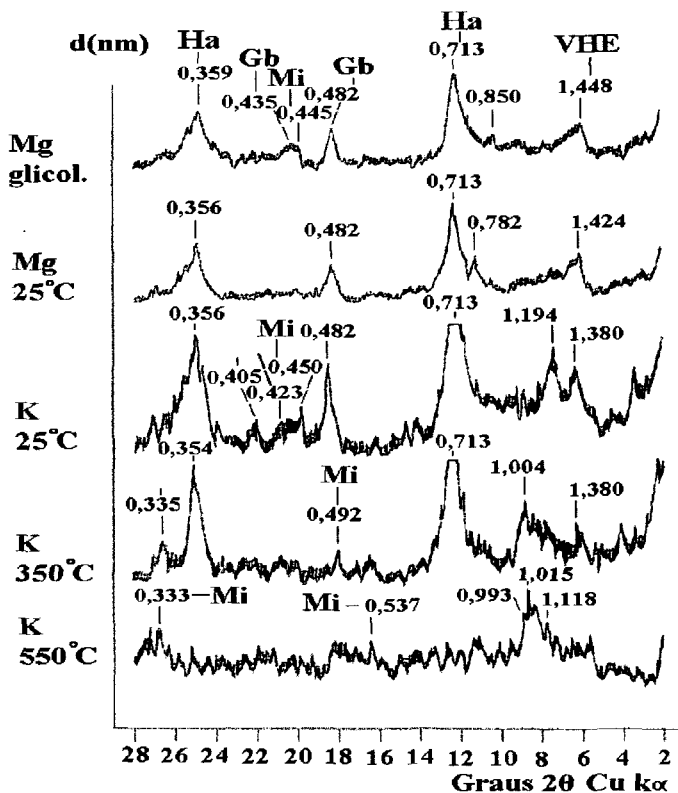


FIGURA 28 - Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte C do Perfil 2

A existência da Ha no horizonte C é apontada pelos respectivos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem, 0,713 nm; e 0,359 nm, 0,356 nm, 0,354 nm (Figura 28), que desaparecem com o tratamento K 550°C. A intensidade moderada dos picos da Ha, significa teores moderados. O termograma indica predominância da Ha, com 73%, em relação à Gb, com 27% (Figura 26).

A Gb no horizonte C é detectada no tratamento Mg glicol pelos picos 0,482 nm e 0,435 nm (Figura 28), e nos tratamentos Mg 25°C e K 25°C pelo pico 0,482 nm, que desaparecem no tratamento K 350°C. Os picos da Gb apresentam intensidade acentuada, que é maior do que à VHE e menor do que à Ha. Isso sugere que a Gb apresenta teor relativamente moderado. O pico endotérmico da Gb é 354°C (Figura 26).

A presença da Mi no horizonte C é evidenciada nos tratamentos Mg glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C, com os respectivos picos 0,445 nm; 0,450 nm; 0,492 nm, 0,335 nm; e

0,537 nm, 0,333 nm (Figura 28). Mesmo no horizonte C os teores da Mi não são significativos, pois seus picos não aparecem em todos os tratamentos e são pouco intensos.

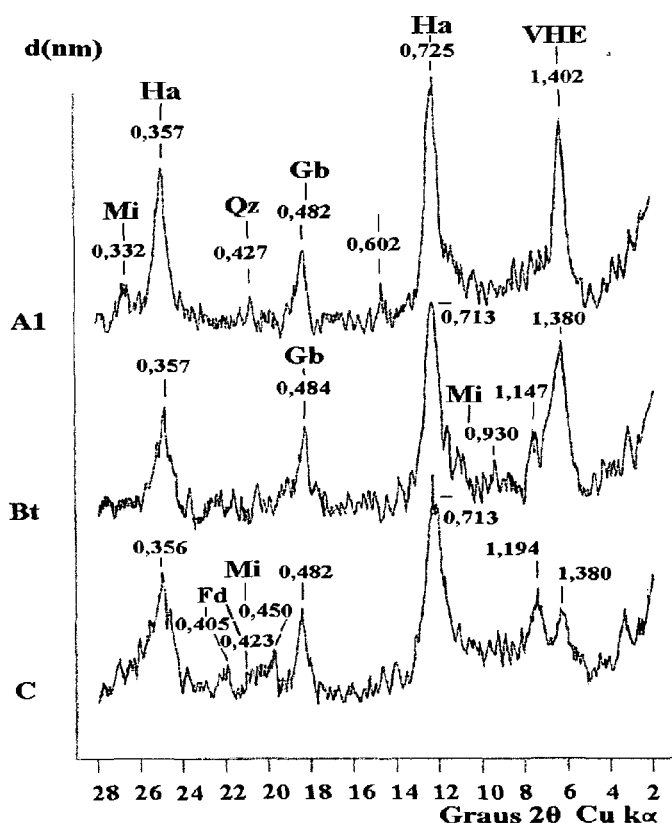


FIGURA 29 - Difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com K (25°C) dos horizontes seleccionados do Perfil 2

No perfil, o tratamento K 25°C (Figura 29) mostra que com a profundidade, além de diminuir os teores da VHE, há uma perda gradativa da estabilidade do seu pico. Isso demonstra que o grau de preenchimento das entreacamadas diminui com a profundidade: é relativamente elevado no

horizonte A1, moderado no Bt e baixo no C. Da mesma forma, observa-se no horizonte A1 (Figura 25) com tratamento K 550°C, que a VHE apresenta banda mais larga do que nos horizontes subjacentes, por possuir maior preenchimento das entrecamadas.

Igualmente no tratamento Mg glicol (Figura 30), o pico da VHE diminui ligeiramente a intensidade do horizonte A1 para o Bt; todavia no C o declínio da intensidade é relevante, evidenciando diminuição da quantidade com a profundidade.

A partir disso, infere-se que o perfil apresenta grau moderado de desenvolvimento, no qual os processos de intemperismo não estão estabilizados, pois a diferenciação existente no grau de preenchimento entrecamadas da VHE evidencia isso.

Esperava-se encontrar, teores maiores da Mi no horizonte C, no entanto, somente aparecem vestígios, como aliás, acontece no restante do perfil. A Mi é considerada o precursor da VHE, entretanto não há relação lógica entre esses minerais com a profundidade, talvez na fração silte, que é a dominante, exista uma relação mais consistente. Por outro lado, a Mi não apresenta tendência de distribuição no perfil, indicando já ter atingido grau máximo de alteração e/ou seus teores são baixos no material de origem (riólito). Em vista disso, pode-se inferir que as mudanças ocorridas na VHE com a profundidade no tratamento K 25°C (Figura 29) estão relacionadas particularmente à existência de diferentes

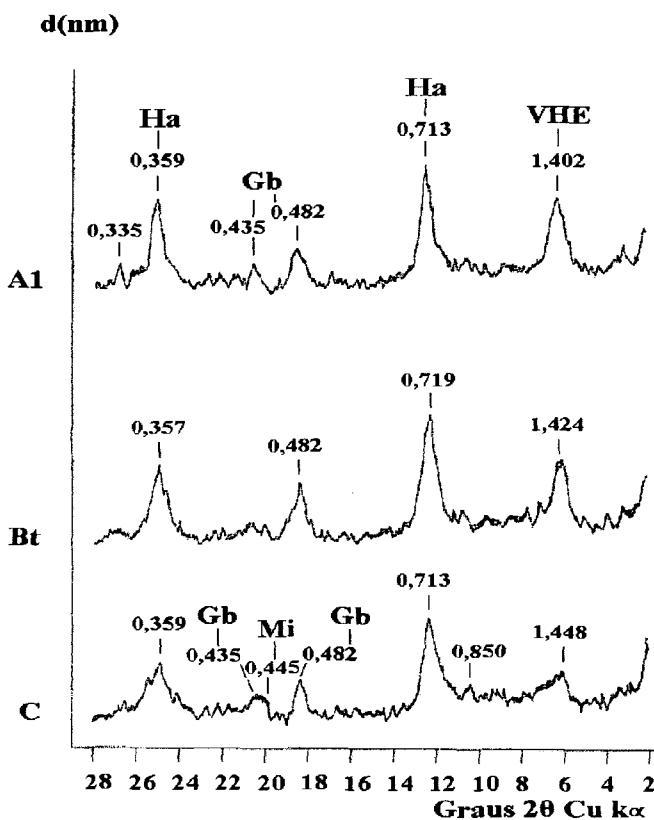


FIGURA 30- Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com Mg e glicolada dos horizontes selecionados do Perfil 2



graus de preenchimento entrecamadas.

Os picos da Ha nos tratamentos K 25°C (Figura 29) e Mg glicol (Figura 30) no perfil declinam com a profundidade. Ademais, a ATD (Figura 26) mostra que os teores da Ha em relação à Gb, diminuem com ela.

Em adição, a LMH dos picos (001) da Ha no perfil, com o tratamento Mg glicol, aumenta com a profundidade, sendo 0,30 °2 $\theta$  no horizonte A1, 0,40 °2 $\theta$  no Bt, e 0,45 °2 $\theta$  no C, indicando que o tamanho dos cristais diminui com ela.

Em vista disso, infere-se que com a profundidade a Ha diminui ligeiramente a quantidade e o tamanho dos cristais.

Nos horizontes A1 e Bt as fotomicrografias (Figuras 31, 32, 33, 34), mostram a presença da Ha através morfologia de tubos, enquanto as placas pseudo-hexagonais indicam a presença da Ka. A ligeira falta de simetria dos picos da DRX, está relacionada à presença da Ha, e não a baixa cristalinidade, pois a sua temperatura de decomposição (> 590°C) indica cristalinidade relativamente elevada. Mas, a presença segura da Ha pela DRX, via de regra, é difícil, pois mesmo que possua maior quantidade os seus picos estão sobrepostos aos da Ka; e mesmo quantidades menores da Ka conseguem mascarar a Ha. Por isso a microscopia eletrônica mostra, a rigor, a existência da Ha e a sua maioria. Ainda, as fotomicrografias mostram concentração maior dos tubos no horizonte Bt (Figuras 33, 34) do que no A1 (Figuras 31, 32).

Então, os reflexos 001 e 002 da DRX são composto predominantemente por Ha e a seguir por alguma Ka.

O pico 0,482 nm (Figura 30) da Gb aumenta ligeiramente a intensidade, do horizonte A1 para o Bt, todavia, diminui ligeiramente no C. Na ATD, a Gb em relação à Ha apresenta a mesma tendência da DRX, mas de forma mais acentuada devido à sensibilidade maior da ATD

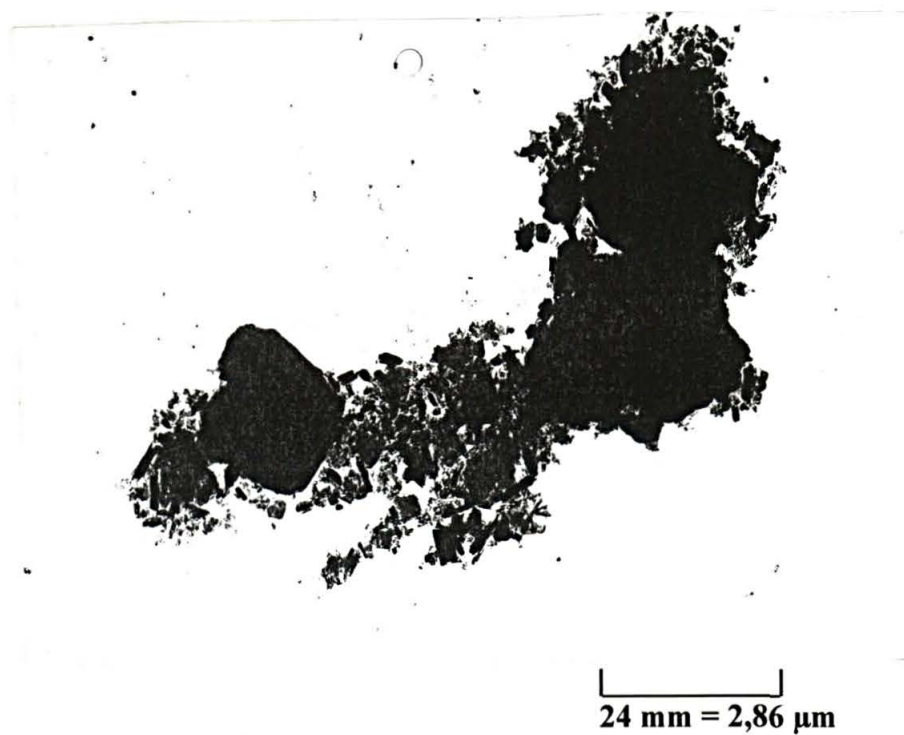


FIGURA 31 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 2

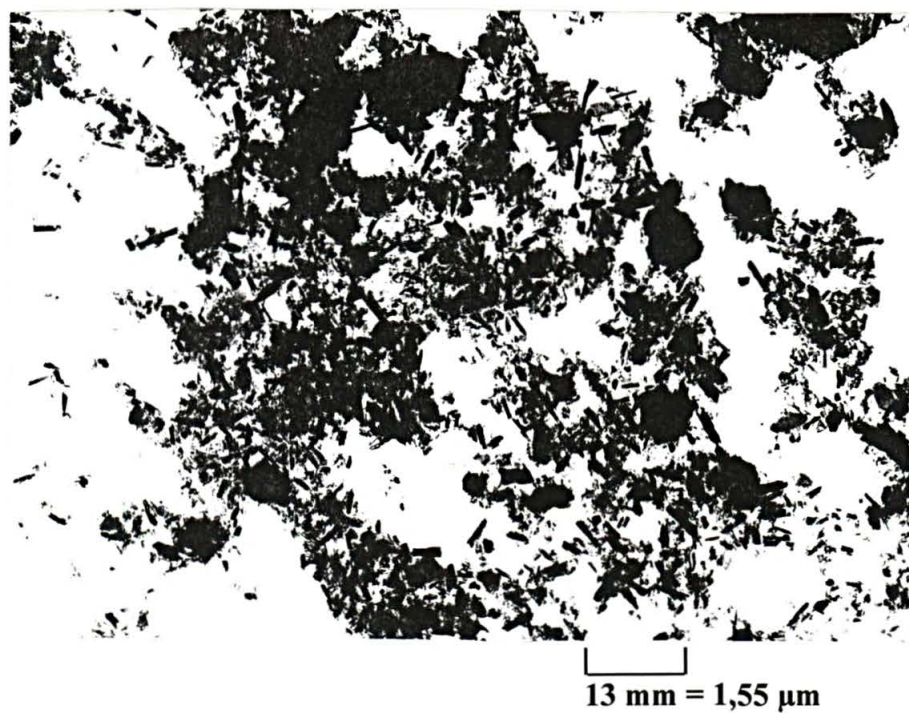


FIGURA 32 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE A1 DO PERFIL 2

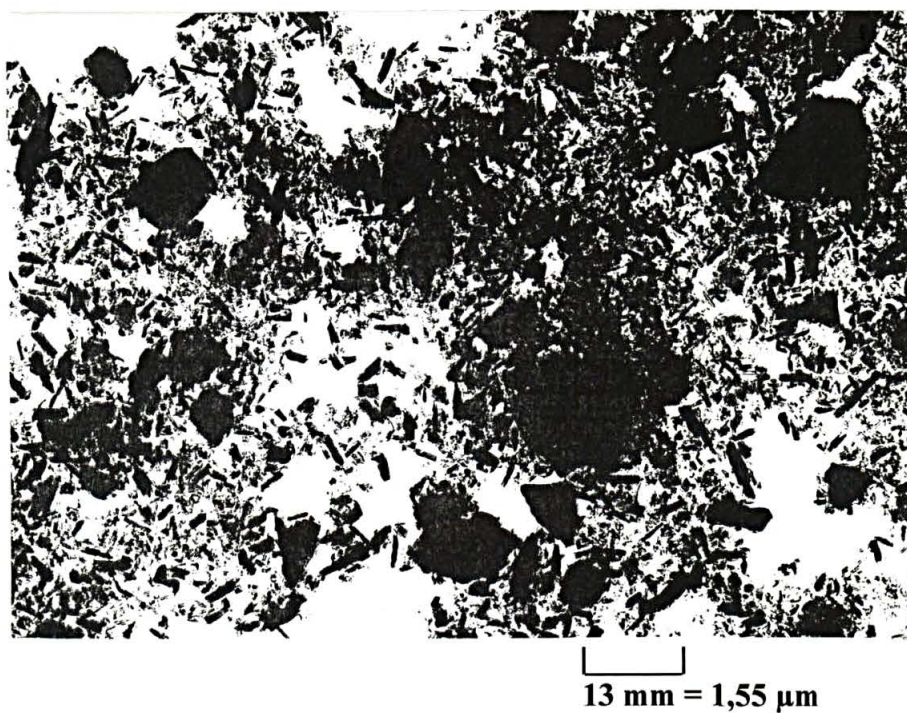


FIGURA 33 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bt DO PERFIL 2

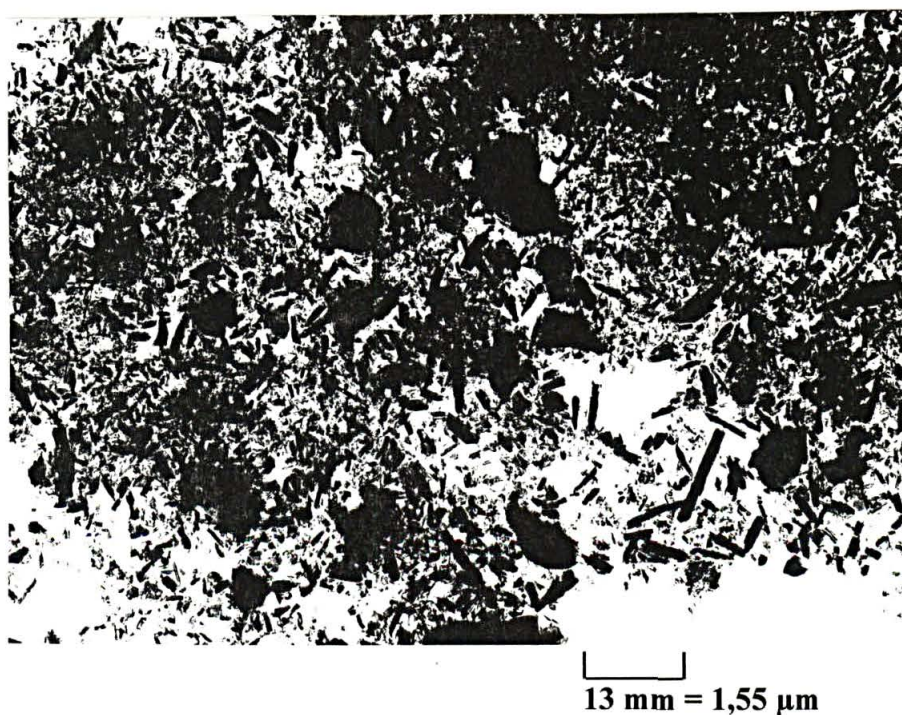


FIGURA 34 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bt DO PERFIL 2



para detectar a Gb; os teores da Gb aumentam em relação à Ha do horizonte A1 para o Bt, e declinam no C, respectivamente 18%, 37% e 27% (Figura 26).

A intensidade dos picos da Gb é considerada relativamente moderada no perfil, pois para o mineral ser detectado pelos raios-X, é necessário que o seu conteúdo absoluto seja > 50 g/kg, de acordo com JACKSON (1969) citado por HSU (1989, p. 340).

A ATD (Figura 26) mostra que o teor da Gb é menor no horizonte A1 do que em profundidade, contrariando a sua seqüência tradicional de intemperismo em um perfil. Isso se deve à quantidade maior de C orgânico na superfície; pois a presença de alguns tipos de ácidos orgânicos agressivos, sua concentração, e pH extremamente ácido retardam e/ou inibem a cristalização da Gb. Igualmente, a ATD mostra aumento da cristalinidade com a profundidade; a temperatura de decomposição da Gb aumenta significativamente do horizonte A1 até o Bt, e depois praticamente mantém-se constante, com os respectivos picos endotérmicos 342°C, 356°C e 354°C.

Os horizontes A3, A4, A5 e A6 apresentam teores elevados das formas do Al de baixa cristalinidade ( $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{O}}$ ), respectivamente 2,66%, 3,68%, 4,40% e 3,76% (Quadro 2).

A relação  $\text{Al}_2\text{O}_{3\text{P}}/\text{Al}_2\text{O}_{3\text{O}}$  nos horizontes A1, Bt, e C é, respectivamente, 1,0, 0,35, e 0,36 (Quadro 2). Isso significa que no horizonte A1, 100% das formas do Al de baixa cristalinidade estão ligadas à matéria orgânica, enquanto nos horizontes Bt e C, somente 35% e 36%, respectivamente, estão ligadas a ela.

A DRX mostra a presença da Gt como único de óxido de Fe na fração argila do Perfil 2. Nos horizontes A1, Bt e C, a Gt apresenta os respectivos picos 0,416 nm, 0,243 nm; 0,411 nm, 0,242 nm; e 0,415 nm, 0,242 nm (Figura 35), que apresentam intensidade baixa, além de estarem muito próximos do pico do Qz e da Mi, o que talvez, cause alguma interferência. Mas há reciprocidade entre a intensidade baixa dos picos e os teores baixos do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  nos

horizontes A1, Bt e C, respectivamente, 2,16%; 1,63% e 1,32% (Quadro 2), evidenciando que a intensidade baixa indica teores baixos do Fe cristalino no perfil. O  $\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$  diminui com a profundidade, sugerindo que a Gt também diminui com ela.

Ademais, a LMH dos picos (110) da Gt, diminui com a profundidade no perfil: no horizonte A1 com  $0,50^\circ 2\theta$ , no Bt com  $0,40^\circ 2\theta$  e no C com  $0,35^\circ 2\theta$  (Figura 35), indicando que o tamanho dos cristais aumenta com ela.

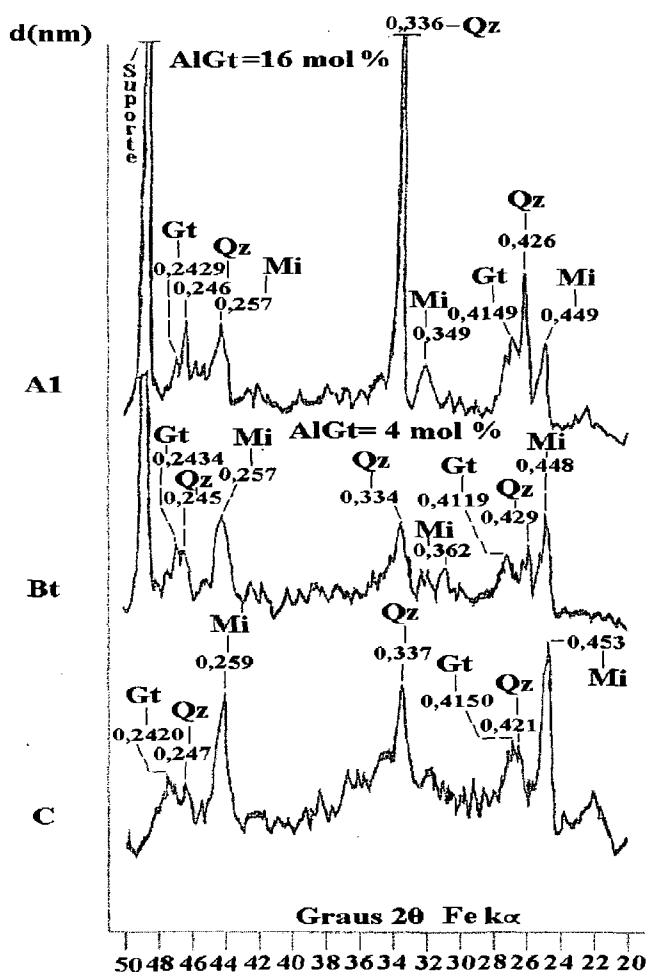


FIGURA 35 - Difrátogramas de raios-X dos óxidos Perfil 2

A Gt apresenta moderada substituição por Al no horizonte A1, com 16 mol %, todavia, declina para 4 mol % (Figura 35) no Bt. Isso reforça a tendência da LMH, mostrando que o tamanho dos cristais aumenta com a profundidade. De acordo com as observações de BIGHAM *et al.* (1978, p. 824) o Al na estrutura dos óxidos diminui a dimensão da célula unitária, o tamanho da partícula e o ordenamento magnético.

O pedoambiente úmido, mas de drenagem livre é confirmado pela presença da Gt, e pela ausência de cores neutras no perfil. Assim como a presença da Gb indica condições de drenagem livre.

A coloração bruno-escuro a bruno (Quadro 2) do horizonte Bt é atribuída à presença da Gt e ao C orgânico.

Os teores baixos do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  no perfil, 2,81% (A1), 2,96% (Bt), e 2,50% (C) (Quadro 2), se devem exclusivamente à natureza do material do origem: o riólito, pobre em Fe.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  diminui com a profundidade: no horizonte A1 com 0,77, no Bt com 0,55 e no C com 0,53 (Quadro 2). Na superfície a maioria (77%) do Fe está livre dos silicatos, mas com a profundidade o teor do Fe livre é somente ligeiramente superior ao do Fe ligado aos silicatos. Isso traduz o grau moderado de intemperismo do perfil.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  nos horizontes A1, Bt e C é, respectivamente, 0,45, 0,35, e 0,20 (Quadro 2). Nesses horizontes a maioria do Fe livre está na forma cristalina, mas no restante do perfil predomina a forma de baixa cristalinidade. Essa relação também mostra que o perfil apresenta grau moderado de intemperismo.

O  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}$  apresenta-se mais elevado e com certa variação nos horizontes A1, A2, A3, A4, A5 e A6, que são os mais ricos em C orgânico, respectivamente 0,97%, 2,05%, 1,42%, 1,82%, 1,70% e 1,66% (Quadro 2); no restante do perfil os teores declinam significativamente, pois a matéria orgânica inibe e/ou retarda a cristalização dos óxidos de Fe e assim origina óxidos de Fe de baixa cristalinidade.

Os teores menores do Fe encontram-se presentes na matéria orgânica e diminuem com a profundidade, conforme pode ser observado pelos teores do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{P}}$  dos horizontes A1, Bt e C, respectivamente 0,60%, 0,13% e 0,04% (Quadro 2).

Os picos do Qz, na concentração com NaOH 5 N, diminuem a intensidade com a profundidade; no horizonte A1 apresentam intensidade elevada, e nos demais horizontes, baixa (Figura 35).

Os picos da Mi nos horizontes A1, Bt e C são, respectivamente, 0,449 nm, 0,349 nm, 0,257 nm; 0,448 nm, 0,362 nm, 0,257 nm; e 0,453 nm, 0,259 nm (Figura 35). Na concentração com NaOH 5 N, esses picos apresentam intensidade mais acentuada, que se intensifica com a

profundidade, mostrando com muita consistência a presença desse mineral no perfil, ao contrário da argila desferrificada.

A partir disso, verifica-se a existência no perfil de uma relação inversa de distribuição, entre a Mi e a VHE, o que fortalece a conjectura de que a Mi é o precursor da VHE.

Em suma, considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, firmam-se os principais constituintes da fração argila no perfil, a saber: predomina a Ha (com alguma Ka), secundariamente a VHE, e a seguir a Gb; e teores menores do Qz, a seguir a Mi e por último a Gt.

As DRX das frações areia grossa (Figura 36) e areia fina (Figura 37), confirmam o predomínio do Qz em todos os horizontes, através da intensidade maior e número maior dos seus picos. Também aparecem em todos os horizontes picos de intensidade baixa do Fd e de intensidade baixíssima da Mi.

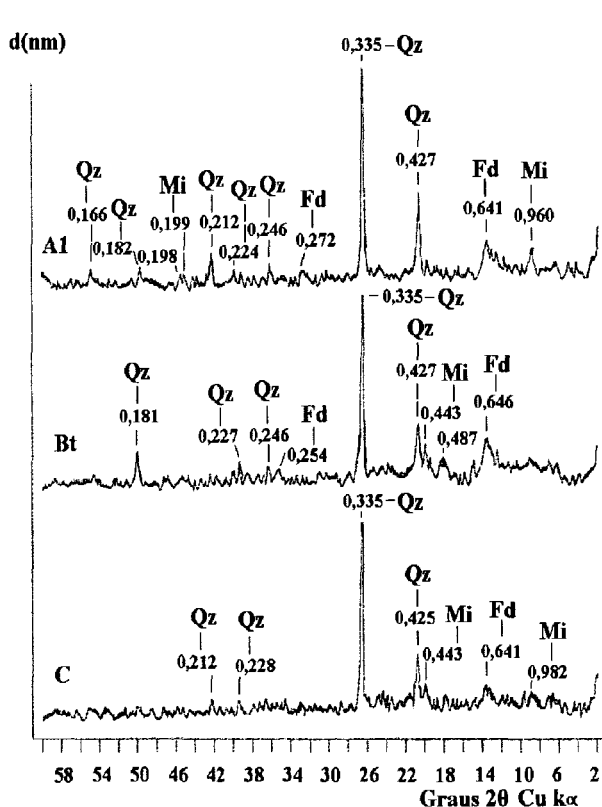


FIGURA 36 - Difratomogramas de raios-X da fração areia grossa dos horizontes selecionados do Perfil 2

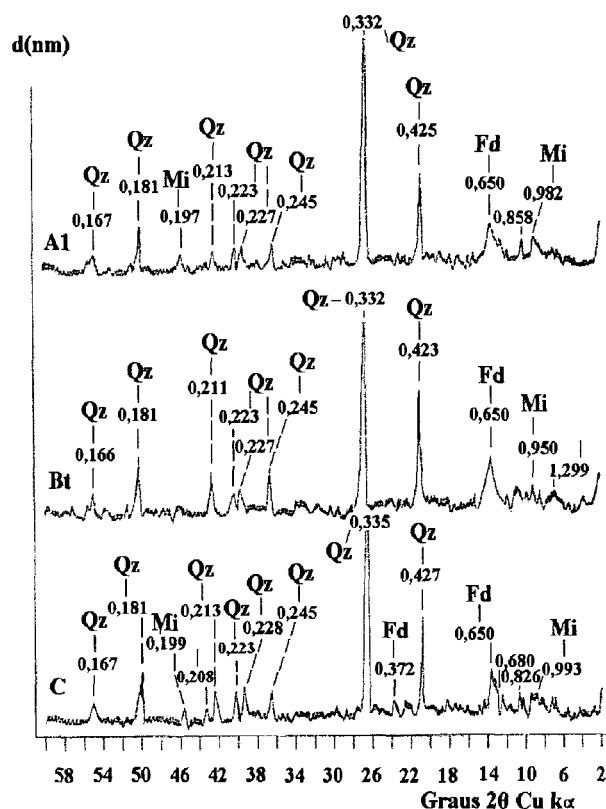


FIGURA 37 - Difratomogramas de raios-X da fração areia fina dos horizontes selecionados do Perfil 2

O Perfil 2 apresenta grau moderado de intemperismo, evidenciado pelas suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. As características morfológicas mostram o pouco desenvolvimento da cor e moderado da espessura; a acentuada diferenciação dos horizontes e a presença do horizonte C. As características físicas mostram a classe geral de textura binária e relação silte/argila elevada; a presença da mudança textural abrupta e do material grosseiro. As características químicas mostram o declínio acentuado da relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3D}/\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$  com a profundidade e variação da relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3O}/\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$  no perfil. As características mineralógicas da fração argila mostram teores moderados dos minerais secundários e também a diferenciação do grau de preenchimento das entrecamadas da VHE no perfil.

Em que pesem os teores relativamente moderados da Gb, resultantes do pedoambiente perúdicico méxico, o solo apresenta grau moderado de intemperismo. As elevadas precipitações e condições de relevo movimentado, provocam alterações intensas permitindo a saída intensa da sílica do sistema e a conseqüente formação da Gb.

Considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, firmam-se as prováveis seqüências de transformações mineralógicas do Perfil 2:

- a) a seqüência dominante: feldspato  $\Rightarrow$  haloisita;
- b) a seqüência secundária: mica  $\Rightarrow$  VHE;
- c) a seqüência seguinte: feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita.

A partir disso, considera-se o Fd como o mineral primário, precursor da maioria dos minerais secundários da fração argila.

Na região da Serra do Mar a profundidade dos solos está condicionada, sobretudo, à posição que ocupam na paisagem e isso determina as diferenças morfológicas entre os Perfis 2, 3 e 4.



No período que perdurou o último clima semi-árido a vegetação tornou-se muito rala ou até desapareceu e associada ao relevo acidentado, facilitou a erosão intensa que por solifluxão praticamente todo o material das partes mais elevadas e das encostas da paisagem foi transportado e depositado no sopé das montanhas e nos vales. Dessa forma, nas partes mais elevadas e nas encostas a rocha aflorou e deu início ao tempo de formação dos solos localizados nessas posições na paisagem. Em vista disso, acredita-se que o tempo de formação desses solos deva ter-se iniciado no último período semi-árido, por ocasião da exposição da rocha, e assim sucederam-se as alterações físicas; e com a chegada da última fase úmida ( $\cong 2.400$  anos), iniciou-se a fase das alterações químicas que perduram até hoje.

Em que pese, o pedoambiente perúico méxico iniciado na última fase úmida, a composição mineralógica do Perfil 2 não é dominada por gibbsita e os conteúdos e a cristalinidade dos minerais secundários são moderados, resultando num solo com moderado grau de intemperismo. A composição mineralógica do riólito talvez explique, em parte, a composição mineralógica do perfil; as rochas ácidas como o riólito são normalmente compactas e resistentes ao intemperismo, e também contribuem para o pouco desenvolvimento dos solos.

### 5.3 PERFIL 3

#### 5.3.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, QUÍMICAS E FATORES DE FORMAÇÃO

O Perfil 3 (Figura 7) situa-se a 1.210 m de altitude e está assentado na superfície geomórfica mais antiga, relacionada ao pediplano Pd<sub>3</sub>. Encontra-se na posição de topo na paisagem (Figura 8): no interflúvio, com extensão de aproximadamente 4 m de diâmetro e com tendência a formato convexo. O relevo local é ondulado com declividade de 10%, havendo, a partir desse pequeno topo da montanha, um acentuado aumento da declividade. O perfil está recoberto por vegetação primária arbustiva densa, denominada floresta ombrófila densa altomontana ou subtropical perúmida altimontana, de no máximo 2 m de altura, composta de arvoretas tortuosas no primeiro plano do dossel, e também por plantas do grupo das pteridófitas (samambaias), epífitas da família das orquidáceas (orquídea) e família das bromeliáceas (caraguatá), entre outras, conforme a Descrição Geral (A).

De acordo com a Descrição Morfológica (B), o perfil tem 82 cm de espessura, enquadrando-se na classe de profundidade, pouco profundo ( $> 50$  e  $\leq 100$  cm) e apresenta uma seqüência de horizontes pouco comum: Oo2-Oo1-Od-A1-A2-A3-Bi-R. A sua composição é predominantemente orgânica (55%), com espessura de 45 cm, enquanto a parte de constituição mineral tem 37 cm de espessura, representando 45% do perfil.

Os primeiros 32 cm (Oo2 e Oo1) de espessura da porção orgânica apresentam um material orgânico de constituição essencialmente fibrosa, formado principalmente por raízes finas e médias (mortas) e secundariamente por *litter* de folhas, galhos finos e cascas de árvores. Em consequência da incipiente evolução pedogenética: condições de não transformação biológica por decomposição, recebem a qualificação de camada, que é representada pelas

designações Oo2 e Oo1. A designação O qualifica material orgânico em condições de drenagem livre e o sufixo o retrata as características de material orgânico não decomposto ou pouco decomposto. A outra porção orgânica simbolizada por Od tem 13 cm de espessura e é constituída por material orgânico decomposto (d) de drenagem livre (O); por apresentar material com grau avançado de evolução, recebeu a qualificação de horizonte.



FIGURA 7 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 3

Primeiramente, a diferenciação entre as camadas Oo foi feita morfologicamente de acordo com a variação da cor. O material da camada Oo2, por ser de deposição mais recente, apresenta-se praticamente inalterado por transformação biológica, evidenciado pela cor mais clara (10 YR 3/2) e pelo conteúdo de C orgânico mais alto (58,80%) (Quadro 3). Por outro lado, a camada Oo1, por ser oriunda de deposição um pouco mais antiga, apresenta alguma alteração, evidenciada pela cor mais escura (10 YR 2/1) e pelos teores de C orgânico mais baixos (31,50%) do que a camada subjacente. A diferenciação das duas camadas preditas e do horizonte Od decorre, principalmente, da textura fibrosa das primeiras, nas quais se pode distinguir as partes vegetais; ao passo que no horizonte Od esse material já sofreu maior alteração, de modo que já não se consegue distinguir a estrutura dos seus precursores vegetais e além disso apresenta estrutura granular e teor mais baixo (13,50%) de C orgânico.



FIGURA 8 - FOTOGRAFIA DA PAISAGEM DO PERFIL 3

Os horizontes Od e A1, diferenciam-se morfologicamente pela textura e estrutura. O subhorizonte A1 apresenta espessura de 5 cm, o A2 de 11 cm e o A3 de 8 cm; as suas distinções morfológicas são decorrentes da variação na estrutura e na coloração, e essa covaria com o teor de C orgânico. O horizonte B diferencia-se do horizonte sobrejacente (A3) pela cor mais clara (10 YR 4/3) e pela classe geral de textura média pouco cascalhento; abaixo, limita-se com o contato lítico (R): matacões do riólito, de acordo a Descrição Morfológica (B).

As camadas Oo, na verdade, são componentes do solo e, ao mesmo tempo, o material de origem da sua porção orgânica. O material de origem orgânica ocupa posição de topo no perfil, ao contrário daquele da porção mineral, que se situa na base do perfil. Assim, justifica-se a mensuração decrescente da sua profundidade, em que a referência zero se localiza no limite superior do primeiro horizonte mineral indo até a superfície do solo. Outrossim, a seqüência normal dos horizontes (e camadas) e de intemperismo da porção orgânica é em ordem contrária à porção mineral: no topo ter-se-á material orgânico nada ou pouco decomposto (material de origem), representado pelas camadas Oo2 e Oo1; e logo abaixo, está o horizonte Od, mais evoluído pedogeneticamente, pois se encontra há mais tempo sob a ação da fauna do solo, ocupando assim posição de maior profundidade no perfil.

As acumulações orgânicas residuais sob condições de drenagem livre são recentes, virtualmente da época Holocena e, mais precisamente, elaboradas depois da última fase semi-árida: iniciou o período úmido que perdura até o momento atual. Os depósitos de material orgânico compõem sucessivas camadas, que, sob a ação do fator de formação tempo, sofrem transformações por decomposição biológica. A tendência, com o decorrer dos anos, é o aumento da porção orgânica desse perfil: pelo acúmulo de mais material orgânico não decomposto e por adição e translocação de material orgânico decomposto aos horizontes inferiores. As espécies vegetais, fontes de material orgânico, juntamente com o clima, são



responsáveis pela quantidade acumulada e pela taxa de decomposição, que determinam as características do material orgânico.

Verifica-se que a vegetação contribui tanto com acúmulo de material orgânico na superfície (Oo2 e Oo1) como também pela sua adição em profundidade, evidenciada pelos altos conteúdos de C orgânico (Quadro 3) do horizonte Od até o A3.

Os altos conteúdos de C orgânico do Perfil 3 são produtos do clima, que, por sua vez, sofre ação indireta da altitude, pois a cada aumento de 100 m na altitude a temperatura diminui 0,5°C. Ademais, a região da Serra do Mar apresenta, além das precipitações por frente fria, às por orografia. Além disso, na maior parte do ano a região é submetida a nevoeiros, o que mantém elevada a umidade relativa do ar.

As condições climáticas supraditas dos solos altimontanos determinam a preservação de material orgânico. Em vista disso, o processo pedogenético de transformação biológica atua de forma módica, e como resultado, o acúmulo de material orgânico sobrepuja a taxa de decomposição. Apesar das condições de drenagem livre, condicionadas pelo relevo, favorecerem a decomposição e a perda de C orgânico do material orgânico, é muito freqüente a entrada de água no sistema, determinando assim que os solos apresentem regime hídrico úmido.

Existe uma ação recíproca entre vegetação e solo. Por um lado, o fator de formação vegetação através da adição de material orgânico imprime características próprias aos solos, como ocorre na formação das camadas orgânicas (Oo), do horizonte orgânico (Od) e do horizonte A húmico. Por outro lado, a profundidade dos solos influencia a altura e tipo da vegetação. Observou-se, tanto no presente trabalho como também em ROCHA *et al.* (1992, p. 60) e em ROCHA *et al.* (1995, p. 18-28) que, na Serra do Mar, via de regra, as seqüências típicas de solos são representadas: no interflúvio por solos rasos ou pouco profundos (Litólico e Cambissolo) que apresentam vegetação arbustiva tortuosa ( $a \cong 1.200$  m) ou de refúgio

ecológico ( $a \cong 1.400$  m) ou por Afloramentos de Rocha; e, à medida que se avança em direção ao vale, os solos vão-se tornando mais profundos (predominam os Cambissolos) e a vegetação também vai aumentando de tamanho, de modo que, ambos atingem o máximo no vale. O solo, por sua vez, apresenta uma distribuição espacial, dependente da posição que ocupa na paisagem, por ser um segmento dela. À medida que altera sua posição na paisagem muda simultaneamente sua profundidade e em consequência varia o tamanho da vegetação sobrejacente. Convém assinalar que, sob condições climáticas úmidas, a altura e as espécies vegetais são dependentes mormente da espessura do solo, entre outros fatores.

O microclima altimontano da Serra do Mar torna mais lento o processo pedogenético de transformação biológica por decomposição, proporcionando, assim, que os conteúdos de C orgânico se mantenham preservados. Em vista disso, embora estejam relativamente próximos o Perfil 1 (930 m), o Perfil 2 (1.035 m) e o Perfil 3 (1.210 m): cerca de 2 km separam os dois primeiros, e de 3 km os dois últimos; todavia, estão situados em diferentes altitudes, cujo aumento provoca diminuição da temperatura e aumento da umidade, culminando com maiores conteúdos de C orgânico. Em suma, a elevação da altitude do Perfil 1 até o Perfil 3, acarreta um aumento contínuo nos teores de C orgânico e esse, por sua vez, engendra diferentes tipos de horizontes superficiais, respectivamente: moderado, húmico e orgânico.

Em suma, o microclima da Serra do Mar apresenta variações com a altitude, e isso condiciona variações no clima do solo, refletindo-se nas seqüências de solos que apresentam conteúdos crescentes de C orgânico com o aumento da altitude.

Em resumo, com o aumento da altitude os solos tornam-se mais rasos e, em consequência, a vegetação diminui seu porte, e também diminui a produção de massa vegetal. Mesmo que a produção de massa vegetal seja menor nas cotas mais elevadas, os teores de C orgânico em oposição, mantêm-se mais elevados. Em outras palavras, as condições

climáticas das cotas mais altas compensam a menor produção de massa vegetal, por isso os conteúdos de C orgânico são mais elevados.

A rigor, a ação conjugada dos fatores de formação clima e relevo são determinantes nas peculiaridades dos solos altimontanos. As elevadas precipitações distribuídas por todo ano conservam, via de regra, os solos úmidos, e o relevo cumpre o papel de drenar as águas.

Convém assinalar que o mecanismo de entrada e saída de água no sistema é muito dinâmico. Apesar de ser freqüente a entrada de água, o regime hídrico do solo não é molhado e sim úmido; isso demonstra que é eficiente a drenagem acionada pelo relevo. Como resultado, o relevo determina as condições de drenagem dos solos, e isso trará implicações na sua classificação. As elevações da Serra do Mar, no geral caracterizam-se por interflúvios estreitos, a despeito de, em algumas situações isoladas, ocorrerem solos localizados em interflúvios amplos e planos, em que poderá haver condições de eventual má drenagem.

Na amostra total (calhau+cascalho+TFSA) (Quadro 3), as camadas Oo2 e Oo1 não apresentam material grosseiro e são muito baixos os teores de terra fina, razão pela qual não foi possível determiná-los. A partir do horizonte Od inicia o aparecimento de teores muito baixos de cascalho [ $x (< 1\%)$ ], chegando a 3% no A2, ocorrendo até aí uma desintegração quase total da rocha, representada por um teor médio de 97% de terra fina, o que evidencia maior intemperismo na superfície, do que em profundidade. Com a profundidade ocorre aumento no teor de material grosseiro, exceto do horizonte A3 para o Bi, que diminui, respectivamente, de 23% (cascalhento) para 9% (pouco cascalhento). Igualmente, do horizonte A3 para o Bi, diminui consideravelmente o teor de calhau, respectivamente, de 29% para 11%.

As areias, a partir do horizonte Od, apresentam valores muito distantes (Figura 9), a areia fina (Af) com teores bem mais elevados do que a areia grossa (Ag).



Do horizonte Od até o horizonte A3, a distribuição das areias mantém-se praticamente constante. Todavia, no horizonte Bi, ambas aumentam, e a Ag apresenta um aumento muito maior do que a Af (Figura 9). Apesar da grande diferença entre os teores da Af e da Ag e do aumento abrupto dos teores de areia no horizonte Bi, isso não significa, com certeza a existência de descontinuidade do material originário, pois

o perfil ocupa posição de topo na paisagem. O material de origem é a rocha (riólito) e o solo é produto de alteração *in situ*. Nesse caso, o teor de areia discrepante do Bi pode estar indicando que o material de origem é oriundo de rocha não homogênea. Entretanto, o que parece mais provável é que o Bi, por estar mais próximo da rocha, tem o teor de areia mais elevado, por ainda não ter-se estabilizado, o processo de intemperismo que determina a diminuição do

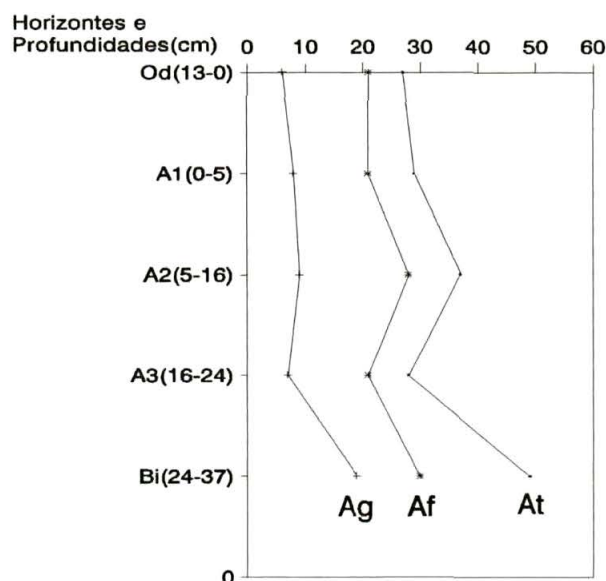


FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 3

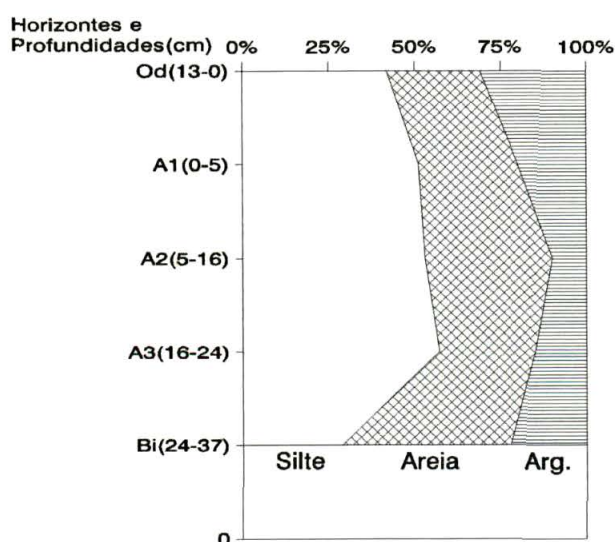


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3

tamanho das partículas, o que é característico de solos pouco desenvolvidos.

A composição granulométrica (Figura 10) demonstra que a fração silte sobrepuja as demais, com teor médio de 46% no perfil; e aumenta com a profundidade, atingindo o máximo (57%) no horizonte A3 e o mínimo no Bi (29%).

A fração areia apresenta teor médio de

34%, com a tendência de aumentar em profundidade (salvo A3), atingindo o máximo (49%) no horizonte Bi. A fração argila, cujo teor médio é de 20%, apresenta os menores teores e uma distribuição muito variável no perfil.

O horizonte Bi apresenta os maiores conteúdos de areia, enquanto os demais horizontes sobrejacentes apresentam o predomínio da fração silte, possivelmente originada pela intemperização da fração areia. No horizonte A3 o valor da fração areia é de 28% e do silte é de 57%; no entanto no Bi esses valores praticamente se invertem para 49% e 29%, respectivamente (Quadro 3).

A relação silte/argila é de 1,32 (Quadro 3) no horizonte Bi, traduzindo os elevados teores de silte no perfil. Ademais, os altos conteúdos no Bi indicam intemperismo não muito avançado; analogamente o caráter pouco cascalhento e a presença de calhaus fortalecem essa conjectura.

As características tanto da porção orgânica como da mineral indicam condições de pouca evolução pedogenética no Perfil 3. As camadas Oo praticamente não sofreram ação do processo pedogenético de decomposição. Na porção mineral, por sua vez, predomina a fração silte na maior parte do perfil, e há, ainda, cascalho e calhaus. A morfologia também expressa o grau de pouco desenvolvimento do solo, através do atributo de pouca profundidade e da cor bruno.

Os valores de  $\Delta pH$  negativos (Quadro 3) em todo o perfil assinalam a preponderância de cargas negativas, indicando o predomínio dos argilominerais e da matéria orgânica em relação aos conteúdos de óxidos de Fe.

O perfil é extremamente pobre em nutrientes (Quadro 3), salvo as camadas Oo2 e Oo1 que apresentam soma de bases (S) mais elevada, respectivamente, 5,9 cmol/kg e 2,3 cmol/kg de solo; entretanto, declina nos demais horizontes para 0,5 cmol/kg de solo. Igualmente as camadas orgânicas apresentam teores elevados de fósforo, respectivamente 36 mg/kg e

24 mg/kg de solo, que, entretanto, declinam no restante do perfil para valores  $\leq 7$  mg/kg de solo. A causa dos teores maiores de nutrientes nas camadas orgânicas se deve ao fato de terem sido absorvidos das camadas mais profundas e se concentrado na superfície, por reciclagem, constituindo-se assim, em reserva de nutrientes, que serão liberados à medida que o material for se decompondo.

A composição a mineralógica do riólito é responsável pelos teores baixos de nutrientes no perfil, que também estão associados ao fator pedogenético de perdas por lixiviação, promovida pelas altas precipitações que, conjugadas às formas de relevo, proporcionam a percolação da água.

A acidez não trocável (H), que diminui em profundidade juntamente com o C orgânico, é 62,5 cmol/kg de solo na camada Oo2 (Quadro 3) e declina para 5,1 cmol/kg de solo no horizonte Bi. Isso se deve ao fato dos horizontes superficiais serem essencialmente orgânicos, apresentando mormente o H dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica, do que o H da oxidrila da caulinita e dos óxidos de Fe e Al.

A CTC potencial é muito elevada (Quadro 3) na porção orgânica e se mantém alta nos horizontes A1 e A2, devido aos teores elevados de C orgânico, declinando significativamente nos horizontes A3 e Bi. Isso demonstra que a CTC elevada até o A2 se deve principalmente à matéria orgânica (quantidade e tipo), pois no perfil predomina argila de atividade baixa (Tb).

A CTC, após correção para carbono no horizonte Bi, é de 8,2 cmol/kg de argila, o que se deve provavelmente à presença da caulinita; cuja banda é de 5 a 15 cmol/kg de argila, segundo BESOAIN (1985, p. 340).

Salvo a camada Oo2, que apresenta caráter distrófico ( $V = 8\%$ ) (Quadro 3), o restante do perfil tem caráter álico; no horizonte Bi a saturação por Al (m) é de 81%.

O horizonte Bi apresenta Ki de 0,65 (Quadro 3), o que sugere o predomínio de gibbsita.

### 5.3.2 PROPOSTA PARA MATERIAL ORGÂNICO E HORIZONTE ORGÂNICO, AMBOS DE DRENAGEM LIVRE

As camadas Oo2 e Oo1 são predominantemente orgânicas, com exígua porção mineral, o que permite considerar inexistente a fração argila; já, os seus respectivos teores de C orgânico, 58,80% e 31,50% (Quadro 3), satisfazem à exigência mínima de 8% para considerá-las material orgânico.

No horizonte Od o teor de argila é de 31% e o de C orgânico é de 13,50% (Quadro 3); portanto satisfaz à condição mínima de 10,08% de C orgânico em relação ao teor de argila para material orgânico.

Em suma, as camadas Oo2 e Oo1 e o horizonte Od são material orgânico sob condições de drenagem livre. Entretanto a classificação em vigor admite como horizonte orgânico, unicamente o turfoso, que se encontra obrigatoriamente sob condições de hidromorfismo. Em vista disso, não é possível uma classificação precisa para o material orgânico em questão; pois ele não apresenta drenagem impedida, que é uma das características distintivas para horizonte turfoso.

A definição de material orgânico existente na classificação em vigor foi derivada em parte da classificação americana, isto é, foi resgatada somente à condição de hidromorfismo da definição original. Como resultado, a definição parcial de material orgânico adotada passou a valer indistintamente para condições de drenagem impedida e não impedida.

Na classificação em vigor, na definição de material orgânico, não há menção quanto à sua condição de drenagem. No entanto, os conceitos de horizonte e de camada orgânica abrangem as duas condições gerais de drenagem. A partir disso, deduz-se que as condições de drenagem do material orgânico podem ser drenagem livre ou impedida, apesar de não haver referência quanto à isso na sua definição. Entretanto, com mais cuidado, percebe-se que as

definições de Solo Orgânico e de horizonte orgânico turfoso contemplam somente as condições de hidromorfismo. Como resultado, apesar da classificação em vigor admitir horizonte ou camada de drenagem livre, contraditoriamente exclui a classe de Solo Orgânico e horizonte orgânico nas mesmas condições de drenagem. Então, na ocasião de classificar um horizonte (ou camada) orgânico e Solo Orgânico nas condições de drenagem livre, eles são, no geral, indevidamente incluídos na classe de horizonte turfoso (hidromórfico) e na classe Solo Orgânico (hidromórfico), respectivamente, à revelia das suas condições de drenagem diferenciadas.

Em oposição a tal situação, faz-se aqui a proposta para que seja incorporada na íntegra a definição de material orgânico da Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994) à classificação de solos em vigor no Brasil, ou seja, que além de contemplar as condições de drenagem impedida, também incorpore a opção de drenagem livre, a seguir:

O material orgânico deve apresentar as seguintes características distintivas:

- a) teor de C orgânico  $\geq 13,33\%$  ( $20\% \div 1,5$ )<sup>17</sup> e;
- b) condições de drenagem livre, ou ocasional saturação por somente poucos dias (< 30 dias consecutivos).

Assim, haverá condições de caracterizar material orgânico com mais precisão: além de separar as classes gerais de drenagem (saturado e não saturado), para cada uma, utilizar-se-ão critérios distintos de C orgânico.

Convém salientar, no caso de horizonte turfoso (válido também para Solo Orgânico), cujo regime hídrico é molhado, que o seu intervalo de variação da classe de drenagem, no ano, varia com limite mínimo de 30 dias a um limite máximo de 365 dias consecutivos sob condições

---

<sup>17</sup> É um fator de correção para minimizar as diferenças analíticas entre o laboratório do SNLCS-EMBRAPA e o do SCS-USDA

de saturação com água. Em outras palavras, as condições de saturação podem ser permanentes, prevalecendo o ano inteiro (365 dias) ou são temporárias ( $\geq 30$  e  $< 365$  dias consecutivos).

A princípio, considera-se a existência de duas classes gerais de drenagem: impedida e não impedida (livre). Por conseguinte, a classe geral de drenagem livre subdivide-se nas seguintes subclasses, de acordo com a EMBRAPA (1988b, p. 53): excessivamente drenado, fortemente drenado, acentuadamente drenado, bem drenado e moderadamente drenado. Na classe geral de drenagem impedida o solo apresenta-se sob regime hídrico molhado permanente ou temporário ( $\geq 30$  e  $< 365$  dias) e apresenta as seguintes subclasses, de acordo com a EMBRAPA (1988b, p. 54): imperfeitamente drenado, mal drenado e muito mal drenado.

As classes gerais de drenagem livre e impedida são adjacentes, através das suas respectivas subclasses: moderadamente drenado e imperfeitamente drenado. Em vista disso, a subclasse moderadamente drenado apresenta regime hídrico úmido, cujo limite superior do seu intervalo de classe é representando por condições extrema de umidade, que pode apresentar eventual condição temporária ( $< 30$  dias consecutivos) de regime hídrico molhado.

A subclasse moderadamente drenado é a que mais se aproxima das condições hídricas do Perfil 3, pois esse apresenta: classe geral de textura média, que permite o movimento da água através do solo; relevo, que também auxilia na movimentação da água; e regime pluviométrico elevado, que condiciona a umidade permanente do perfil.

As camadas orgânicas (Oo2 e Oo1) e o horizonte orgânico (Od) apresentam, respectivamente, os seguintes conteúdos de C orgânico: 58,80%; 31,50% e 13,50% (Quadro 3), satisfazendo plenamente aos requisitos para material orgânico propostos aqui: são de drenagem livre e os teores de C orgânico  $\geq 13,33\%$ ; e a sua espessura perfaz 45 cm.

Para torná-los classificáveis com maior precisão faz-se mister a proposta de criação de um horizonte (ou camada) orgânico, denominado folístico (O), para condições de drenagem livre, que apresente as seguintes características distintivas:

- a) teor de C orgânico  $\geq 13,33\%$  e;
- b) condições de drenagem livre ou ocasional saturação por somente poucos dias ( $< 30$  dias consecutivos) e;
- c) horizonte mineral subjacente (ao material orgânico) com espessura  $> 10$  cm.

A denominação, folístico (O), aqui proposta para horizonte orgânico de drenagem livre, cujo o nome da classe traz à mente a idéia de folhas, lembrando a sua natureza orgânica.

A justificativa para a presença de um horizonte mineral com espessura  $> 10$  cm, subjacente ao material orgânico é uma garantia de que as raízes não desenvolver-se-ão exclusivamente no material orgânico: dessa forma, o material orgânico constitui-se em horizonte orgânico e não em Solo Orgânico (será discutido a seguir).

Em suma, as camadas orgânicas (Oo2 e Oo1) e o horizonte orgânico (Od) não são classificados como horizonte turfoso (H), de acordo com a classificação em vigor, porque não cumprem os requisitos exigidos para tal: drenagem impedida e espessura  $> 40$  cm e  $< 20$  cm; pois apresentam condições de drenagem livre e a espessura de 45 cm. Embora apresentem os conteúdos exigidos de C orgânico e de espessura para Solo Orgânico, não podem ser classificados como tal, devido às suas condições de drenagem livre.

Salienta-se, que as condições de drenagem são determinadas pelo relevo e esse tem relevante importância na gênese do horizonte folístico, ou seja, do horizonte orgânico de drenagem livre.

### 5.3.3 CLASSIFICAÇÃO

A classificação do Perfil 3 foi realizada de acordo com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 13) e EMBRAPA (1988b, p. 2, 13-15); e à Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 44, 161, 182) no nível de Grande Grupo.

Conforme dito anteriormente, a rigor, a classificação em vigor não contempla o material orgânico: Oo2, Oo1 e Od. A despeito disso, tal material é comumente classificado indevidamente como horizonte turfoso (H).

Os subhorizontes A1 e A2 apresentam, respectivamente 8,05% e 8,62% de C orgânico (Quadro 3). De acordo com a classificação em vigor, apesar de apresentarem conteúdos intermediários de C orgânico (entre 8% e 12%), não constituem material orgânico, pois seus teores de C orgânico são inferiores aos respectivos conteúdos mínimos exigidos: 9,34% e 8,67%. Esses subhorizontes tampouco satisfazem aos requisitos propostos aqui para material orgânico de drenagem livre.

Por outro lado, os subhorizontes A1 e A2, juntamente com A3 (com 4,01% de C orgânico) atendem todos os requisitos para A proeminente: quando o solum é < 75 cm a espessura deve ser  $\geq 18$  cm e  $> 1/3$  da espessura do solum; pois têm 37 cm de solum e 24 cm de espessura. Além disso, apresentam maior desenvolvimento, expresso pelos elevados conteúdos de C orgânico e coloração escura. Assim, são classificados como A húmico.

O horizonte B apresenta-se pouco desenvolvido morfologicamente, o que é expresso pela reduzida espessura (13 cm), pela cor bruno-escuro a bruno (10 YR 4/3) e pela classe geral de textura média pouco cascalhento. A relação textural (B/A), embora relativamente elevada, com valor de 1,5, não constitui B textural, porque para isso, o teor de argila do horizonte A



deve ser  $> 40\%$ , e é de somente  $15\%$ . E por não apresentar as características distintivas exigidas para as demais classes de horizontes B foi classificado como incipiente.

O horizonte B incipiente apresenta natureza variável, incluindo solos pouco desenvolvidos a desenvolvidos. No entanto, as características do Perfil 3 são de solo pouco desenvolvido, fazendo jus ao nome da classe do horizonte de incipiente, traduzindo com precisão as condições de desenvolvimento do solo. A presença de horizonte B incipiente determina a inclusão do Perfil 3 na classe de solo Cambissolo.

A classificação do Perfil 3 de acordo com a classificação em uso no Brasil é Cambissolo Álico argila de atividade baixa A húmico textura média pouco cascalhento.

A classificação do perfil de acordo com a proposta realizada aqui à classificação em uso no Brasil deve ser Cambissolo Álico argila de atividade baixa folístico A húmico textura média pouco cascalhento.

QUADRO 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3D}/\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3O}/\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$ ) E Ki DO PERFIL 3

Horizonte		Cor (úmido)	Frações da amostra total (%)			Composição granulométrica (%)				silte/ argila
Símbolo	Profundi- dade (cm)		Calhau 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte (mm) 0,05-0,002	Argila < 0,002 mm	
Oo2	45-21	10 YR 3/2	-	- * <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
Oo1	21-13	10 YR 2/1	-	-	-	-	-	-	-	-
Od	13-00	10 YR 2/1	0	x * <sup>2</sup>	100	6	21	42	31	1,35
A1	00-05	10 YR 2/1	5	2	93	8	21	51	20	2,55
A2	05-16	5 YR 2,5/1	0	3	97	9	28	53	10	5,30
A3	16-24	5 YR 3/1	29	23	48	7	21	57	15	3,80
<b>Bi</b>	<b>24-37</b>	<b>10 YR 4/3</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>80</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>22</b>	<b>1,32</b>
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

pH (1:2,5)			Complexo sortivo (cmol/kg solo)								V (%)	m (%)	P (mg/kg)	C (%)
H <sub>2</sub> O	KCl N	$\Delta$ pH	Ca	Mg	K	S * <sup>3</sup>	Al * <sup>4</sup>	H+Al * <sup>5</sup>	H * <sup>6</sup>	CTC p * <sup>7</sup>				
4,4	3,2	-1,2	1,3	4,0	0,58	5,9	4,6	67,1	62,5	73,0	8	44	36	58,80
4,1	3,0	-1,1	0,6	1,4	0,30	2,3	12,1	66,1	54,0	68,4	3	84	24	31,50
4,5	3,7	-0,8	0,3	0,2	0,05	0,5	1,0	28,0	27,0	28,6	2	64	7	13,50
5,0	4,2	-0,8	0,4	0,1	0,01	0,5	5,0	21,0	16,0	21,5	2	91	1	8,05
5,3	4,4	-0,9	0,4	0,1	0,01	0,5	2,4	26,3	23,9	26,8	2	82	1	8,62
5,3	4,5	-0,8	0,4	0,1	0,01	0,5	1,9	10,4	8,5	10,9	5	79	1	4,01
<b>5,3</b>	<b>4,4</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,01</b>	<b>0,4</b>	<b>1,7</b>	<b>6,8</b>	<b>5,1</b>	<b>7,2</b>	<b>6</b>	<b>81</b>	<b>2</b>	<b>1,21</b>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%) * <sup>8</sup> e as razões							% de $\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ * <sup>8</sup> e o índice Ki					
$\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3S}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3P}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3D}/\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$	$\text{Fe}_2\text{O}_{3O}/\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$	$\text{SiO}_{2S}$	Ki	$\text{Al}_2\text{O}_{3T}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3S}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3O}$	$\text{Al}_2\text{O}_{3P}$
0,39	-	-	-	-	-	-	0,04	-	1,79	-	-	-
0,39	-	-	-	-	-	-	0,04	-	1,79	-	-	-
1,96	1,20	1,05	0,55	0,42	0,53	0,52	6,51	2,30	8,25	4,85	0,89	0,81
4,50	3,75	2,98	2,37	1,26	0,66	0,79	5,29	0,96	14,39	9,40	2,55	1,78
3,21	2,51	2,01	1,03	1,19	0,63	0,51	5,02	0,70	20,06	12,20	4,21	1,98
3,03	2,23	2,04	0,54	0,42	0,67	0,26	5,94	1,00	17,94	10,17	2,32	1,47
<b>2,86</b>	<b>2,27</b>	<b>1,98</b>	<b>0,28</b>	<b>0,21</b>	<b>0,69</b>	<b>0,14</b>	<b>4,60</b>	<b>0,65</b>	<b>24,08</b>	<b>12,07</b>	<b>1,23</b>	<b>0,66</b>
1,76	-	-	-	-	-	-	-	-	10,20	-	-	-

\*<sup>1</sup> não determinado; \*<sup>2</sup>  $x < 1$  %; \*<sup>3</sup> soma de bases; \*<sup>4</sup> acidez trocável; \*<sup>5</sup> acidez potencial; \*<sup>6</sup> acidez não trocável; \*<sup>7</sup> p- potencial; \*<sup>8</sup> T-total, S- sulfúrico, D- ditionito, O- oxalato, P- pirofosfato

## A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - Nº 3

DATA - 12/05/1993

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA - CAMBISSOLO ÁLICO argila de atividade baixa A húmico textura média pouco cascalhento fase subtropical perúmida altimontana relevo montanhoso substrato riólito.

CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA - CAMBISSOLO ÁLICO argila de atividade baixa folístico A húmico textura média pouco cascalhento fase subtropical perúmida altimontana relevo montanhoso substrato riólito.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA - HAPLUMBREPTS

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Situado a 30 km de Curitiba (do SCA - UFPR), acesso pela BR 277, entrada à esquerda, antes do primeiro posto da polícia rodoviária no km 653, na vila Miringuava, em São José dos Pinhais-PR, na Serra do Mar, a 25° 44' 02" S e 40° 04' 58" W GR.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada no topo da elevação com cerca de 10% de declividade e sob cobertura de floresta primária (arvoretas, samambaias, caraguatá e orquídeas)

ALTITUDE - 1.210 m

LITOLOGIA - Riólito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Guaratubinha

ERA - Eopaleozóica

PERÍODO - Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos de alteração do riólito

PEDREGOSIDADE - Endopedregosa (Fase pedregosa III)

ROCHOSIDADE - Não rochosa

RELEVO LOCAL - Ondulado

RELEVO REGIONAL - Montanhoso

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Subtropical perúmida altimontana (ou floresta ombrófila densa alto-montana)

USO ATUAL - Floresta primária

CLIMA - Cfb da classificação de Köppen

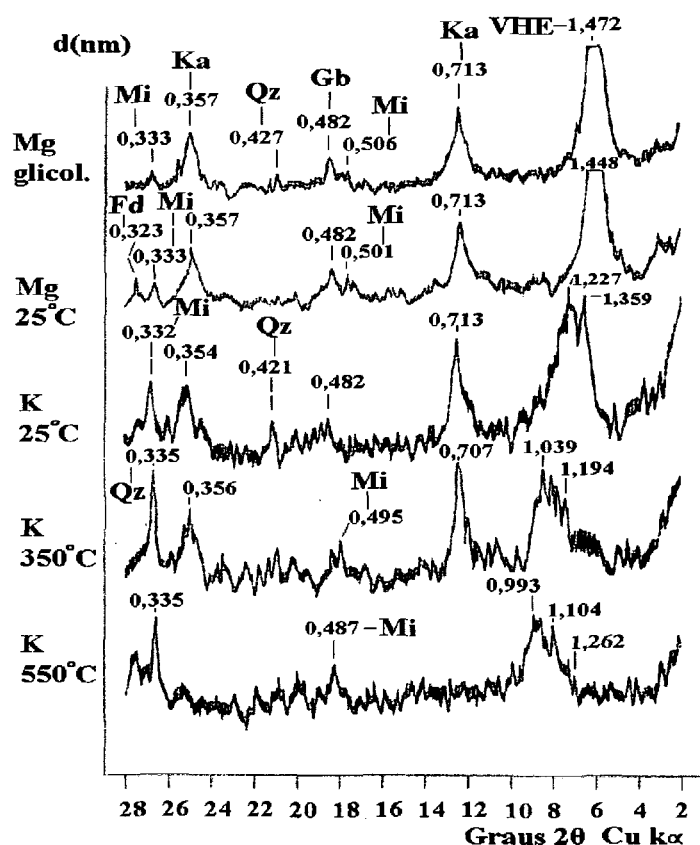
DESCRITO E COLETADO POR - N. L. B. GHANI e A. SANTOS FILHO

## B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Oo2 45-21 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido), bruno-escuro a bruno (10 YR 4/3, seco); fibrosa; muitas raízes finas, *litter* de folhas, galhos finos, casca de árvore; transição clara e plana.
- Oo1 21-13 cm, preto (10 YR 2/1, úmido), cinzento muito escuro (10 YR 2/1, seco); fibrosa; muitas raízes finas, *litter* de folhas, galhos finos, casca de árvore; transição abrupta e plana.
- Od 13-0 cm, preto (10 YR 2/1, úmido), cinzento muito escuro (10 YR 3/1, seco); franco-argiloso muito cascalhento; moderada muito pequena a pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico a pegajoso; transição clara e plana; raízes comuns.
- A1 0-5 cm, preto (10 YR 2/1, úmido), bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); franco-siltoso; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e ondulada; raízes poucas.
- A2 5-16 cm, preto (5 YR 2,5/1, úmido), bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco-siltoso; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes poucas.
- A3 16-24 cm, cinzento muito escuro (5 YR 3/1, úmido), bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); franco-siltoso cascalhento; moderada pequena granular; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes poucas.
- Bi 24-37 cm, bruno-escuro a bruno (10 YR 4/3, úmido), bruno-amarelado (10 YR 5/4, seco); franco pouco cascalhento; moderada pequena granular; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e plana; raízes poucas.
- R material de origem (riólito).

Observação: Presença de cascalhos e calhaus nos horizontes A3 e B1 e matações abaixo do B1.  
Todo o material grosseiro é de riólito.

### 5.3.4 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_3$



**FIGURA 38 - Difratoigramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Od do Perfil 3**

No horizonte Od, os picos da VHE permanecem praticamente inalterados nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C, respectivamente 1,472 nm e 1,448 nm (Figura 38). Todavia no tratamento K 25°C, o referido pico perde a estabilidade, formando um pico duplo: 1,227 nm e 1,359 nm. À medida que aumenta a temperatura, aumenta a intensidade do colapso, com a formação de bandas nos tratamentos K 350°C e K 550°C, respectivamente: 1,039 nm

a 1,194 nm; e 0,993 nm a 1,262 nm. Como resultado, do colapso iniciar no tratamento K 25°C, estima-se um preenchimento das entrecamadas moderado.

Os picos da VHE no horizonte Od, em todos os tratamentos apresentam intensidade maior do que os da Ka, indicando quantidade maior.

A Ka é identificada no horizonte Od pelos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem, respectivamente 0,713 nm, 0,707 nm; e 0,357 nm, 0,354 nm, 0,356 nm (Figura 38), que desaparecem no

tratamento K 550°C. A intensidade baixa e a simetria baixa dos picos, sugere quantidade baixa e a presença de alguma Ha.

Além disso, a ATD no horizonte Od confirma a presença da Ka e mostra o seu predomínio em relação à Gb, respectivamente 81% e 19% (Figura 39), com os respectivos picos endotérmicos 582°C e 337°C.

No horizonte Od a Gb é identificada nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, por picos de intensidade baixa com reflexos de 0,482 nm (Figura 38), que desaparecem no tratamento K 350°C.

Os tratamentos Mg glicol, Mg 25°C, K 25°C, K 350°C e K 550°C indicam à presença da Mi no horizonte Od, através dos respectivos picos 0,506 nm, 0,333 nm;

0,501 nm, 0,333 nm; 0,332 nm; 0,495 nm e 0,487 nm (Figura 38). Os picos apresentam intensidade baixa e não aparecem juntos em todos os tratamentos, sugerindo quantidade baixa.

A mineralogia do riólito [CASTRO 1993, p. 85, 7-9 (anexos)], mostra somente traços da biotita (Mi) e da clorita, os quais são os possíveis precursores da VHE no perfil. A princípio, isso explica, a intensidade baixa dos picos da Mi. Por outro lado, no horizonte Od o teor da VHE é elevado nos tratamentos Mg glicol e Mg 25°C, tanto que possui pico com intensidade muito superior à Ka. Então, a origem da VHE e o seu teor elevado não podem ser atribuídos somente a Mi e a clorita, já que os seus teores são muito baixos no material de origem.

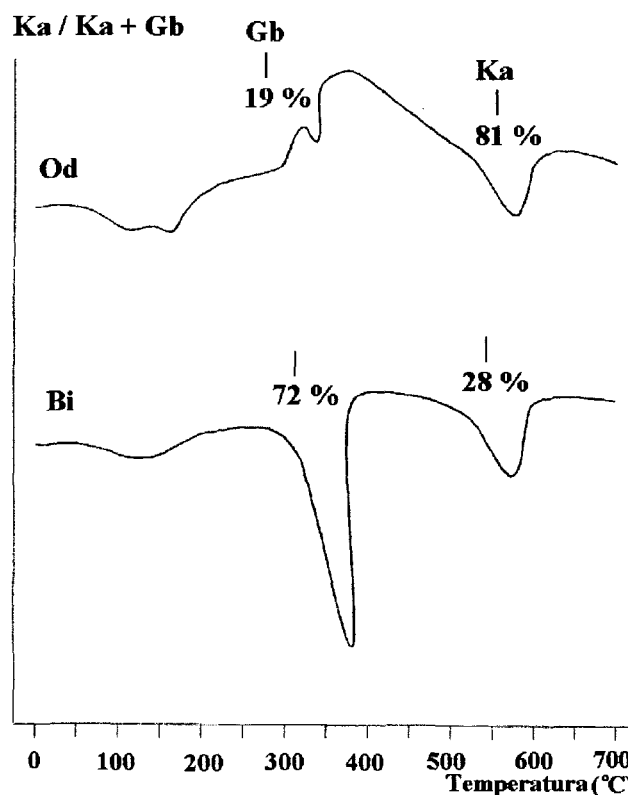


FIGURA 39 - Termogramas da fração argila desferrificada dos horizontes selecionados do Perfil 3

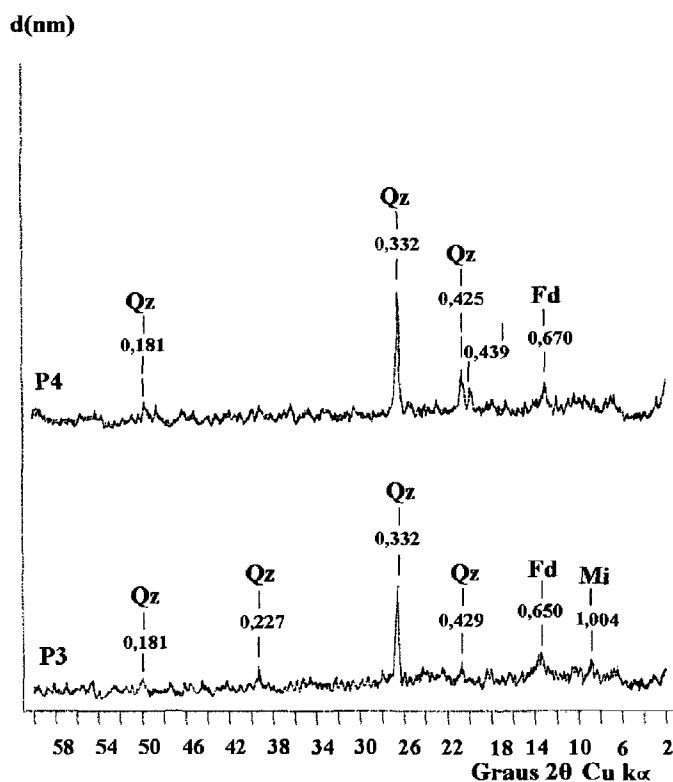


FIGURA 40 - Difratomogramas de raios-X da rocha do Perfil 3 (P3) e do Perfil 4 (P4)

Em adição, a DRX do riólito do Perfil 3 mostra a predominância do Qz com os picos 0,429 nm, 0,332 nm, 0,227 nm e 0,181 nm (Figura 40), secundariamente o feldspato (Fd) com reflexo de 0,650 nm e somente traços da Mi, com o reflexo de 1,004 nm. Portanto a DRX confirma os teores baixos da Mi na rocha que está em concordância com a mineralogia quantitativa do riólito.

O Qz no horizonte Od é identificado nos tratamentos Mg glicol,

K 25°C, K 350°C e K 550°C, através dos respectivos picos 0,427 nm; 0,421 nm; 0,335 nm; e 0,335 nm (Figura 38).

No horizonte Od a presença do Fd é verificada somente no tratamento Mg 25°C, através do pico 0,323 nm (Figura 38).

No horizonte Bi, a VHE aparece nos tratamentos Mg glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C, com os respectivos reflexos 1,424 nm; 1,299 nm a 1,497 nm; 1,210 nm; e 1,027 nm (Figura 41). A intensidade muito baixa dos picos significa baixa quantidade. A instabilidade inicia no tratamento K 25°C, indicando grau de preenchimento das entrecamadas, baixo.

O horizonte Bi apresenta teores baixos da VHE, o que corrobora com os teores baixos dos seus precursores no material de origem.

No horizonte Bi, a Ka é identificada pelos espaçamentos basais 0,725 nm, 0,731 nm, 0,713 nm; e 0,359 nm, 0,353 nm, 0,356 nm e 0,359 nm (Figura 41), que desaparecem no tratamento K 550°C. A intensidade baixa dos picos significa baixa quantidade.

No horizonte Bi a ATD confirma a presença da Ka e o seu teor baixo em relação à Gb, respectivamente 28% e 72% (Figura 39).

A Gb é identificada no horizonte Bi, nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, pelos respectivos picos 0,484 nm, 0,437 nm; 0,482 nm, 0,431 nm; e 0,484 nm, 0,435 nm (Figura 41), que desaparecem com o tratamento K 350°C. A intensidade elevada dos picos sugere teor elevado.

O pico endotérmico da Gb no horizonte Bi confirma a sua presença e a intensidade acentuada indica teor elevado em relação à Ka. O pico endotérmico da Gb é 383°C (Figura 41), que indica elevada cristalinidade.

A Gb apresenta no horizonte Bi os seus picos fracos: 0,437 nm, 0,431 nm e 0,435 nm (Figura 41), o que é indicativo da elevada cristalinidade. A presença desses picos fracos em síntese de laboratório é indicativa da elevada cristalinidade da Gb, de acordo HSU (1989, p. 338).

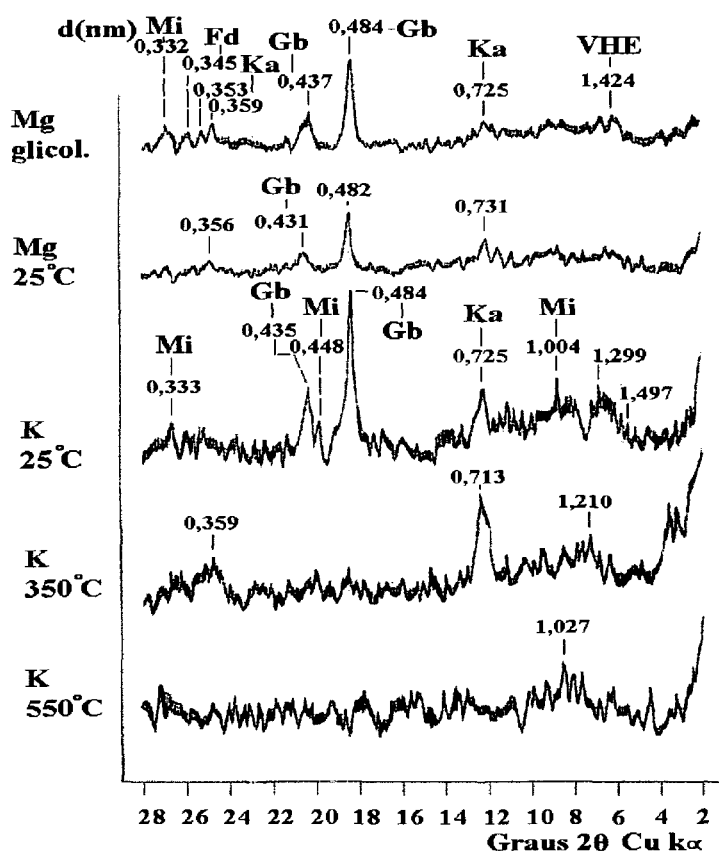
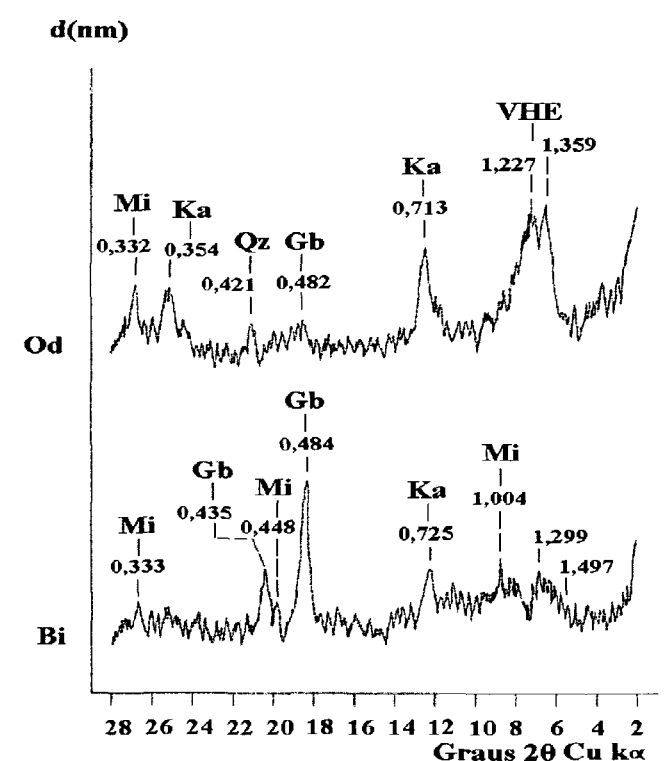


FIGURA 41 - Difratoogramas de raios-X da fração argila desferri-ficada do horizonte Bi do Perfil 3



A presença da Mi no horizonte Bi é verificada nos tratamentos Mg glicol e K 25°C, pelos respectivos picos 0,332 nm; e 1,004 nm, 0,448 nm, 0,333 nm (Figura 41). Os picos apresentam intensidade baixa e não aparecem em todos os tratamentos, o que traduz teor baixo.



**FIGURA 42 - Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com K (25°C) dos horizontes selecionados do Perfil 3**

Nos tratamentos K 25°C (Figura 42) e Mg glicol (Figura 43), o pico da VHE diminui muito a intensidade com a profundidade; e o grau de preenchimento entrecamadas também diminui muito com ela. Existe relação inversa entre a VHE e a Gb no perfil. No horizonte Od o pico da Gb apresenta intensidade muito baixa, enquanto o pico da VHE, elevada. No horizonte Bi, a situação inverte-se: o pico da VHE tem intensidade muito baixa e o da Gb, elevada. No horizonte Od o teor

elevado de C orgânico interfere na formação da Gb, provocando inibição e/ou retardamento da sua cristalização; como resultado, o seu pico apresenta intensidade baixa. KWONG e HUANG (1979, p. 337, 340) encontraram em síntese de laboratório ácidos orgânicos inibindo a cristalização do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

A VHE não apresenta estabilidade com a profundidade, diminuindo muito seus teores com ela. Portanto, com a profundidade os teores de C orgânico são mais baixos, não havendo impedimento à cristalização da Gb e assim parece que a sua formação é favorecida em detrimento da VHE.

Então, no horizonte Od existe um efeito antigibbsítico da matéria orgânica e não da VHE. Enquanto, no horizonte Bi na presença de teores baixos de C orgânico, a Gb encontra-se bem desenvolvida, e da VHE existe praticamente somente vestígio.

No horizonte Bi, devido ao teor baixo de C orgânico, os picos da Gb têm intensidade elevada, enquanto os da VHE são residuais. Assim, a ATD confirma no Bi os conteúdos elevados da Gb em relação à Ka. Outrossim, o termograma mostra que com a profundidade aumenta a cristalinidade da Gb, pois a sua temperatura de decomposição aumenta

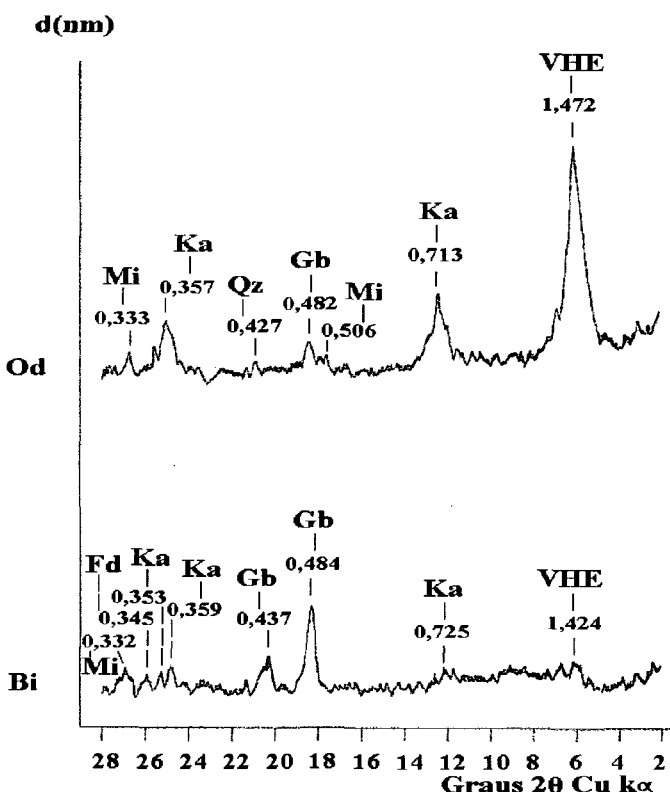
significativamente do Od para o Bi, respectivamente 337°C e 383°C (Figura 39).

No perfil (Figura 42, 43), existe uma elevada diferenciação quantitativa da mineralogia, o que indica baixo grau de desenvolvimento do solo.

Os horizontes A1, A2 e A3 apresentam teores elevados do Al de baixa cristalinidade ( $\text{Al}_2\text{O}_{30}$ ), respectivamente 2,55%, 4,21%, e 2,32% (Quadro 3).

A relação  $\text{Al}_2\text{O}_{3p}/\text{Al}_2\text{O}_{30}$  nos horizontes Od e Bi é respectivamente 0,91 e 0,54 (Quadro 3). Isso significa que no horizonte A1 91% do Al de baixa cristalinidade está ligado à matéria orgânica, enquanto no horizonte Bi somente 54% do Al de baixa cristalinidade está ligado a ela.

Os picos da Ka diminuem drasticamente a intensidade com a profundidade (Figuras 42, 43), permanecendo apenas vestígios. Os picos não apresentam simetria e têm



**FIGURA 43 - Difratomogramas de raios-X da fração argila desferrificada saturada com Mg e glicolada dos horizontes selecionados do Perfil 3**

intensidade baixa, o que indica teor baixo da Ka e a presença de alguma Ha. Ademais, a ATD confirma o declínio significativo dos conteúdos da Ka com a profundidade em relação à Gb.

Nos horizontes Od e Bi, as fotomicrografias (Figuras 44, 45, 46, 47) ilustram a presença da Ka, através das placas pseudo-hexagonais, enquanto a presença esparsa dos tubos, sugere alguma Ha. Ademais, a microscopia eletrônica também evidencia o predomínio da Ka em relação à Ha.

As DRX nos horizontes Od (Figura 42) e Bi (Figura 43) mostram certa assimetria dos reflexos da Ka e conjugada a sua baixa temperatura de decomposição  $< 585^{\circ}\text{C}$  (Figura 39), indica que a Ka apresenta relativa baixa cristalinidade e pode se alterar à Gb.

A Mi nos horizontes Od (Figura 42) e Bi (Figura 43), apresenta picos de intensidade muito baixa e não tem tendência de distribuição com a profundidade. O Qz somente aparece no Od.

No horizonte Bi, o óxido de Fe predominante na fração argila é a Gt, com os picos 0,416 nm e 0,244 nm; e em teores menores aparece a Hm, com pico duplo, de reflexos 0,272 nm e 0,270 nm (Figura 48). Ainda, aparecem Mi e Qz, com os respectivos picos 0,449 nm, 0,257 nm; e 0,427 nm, 0,336 nm.

A Gt apresenta no horizonte Bi substituição por Al moderada de 16 mol % (Figura 48).

A intensidade baixa dos picos da Gt no horizonte Bi, traduz os teores baixos do Fe no perfil, e isso é confirmado pelo teor baixo do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  (1,98%) (Quadro 3) nesse horizonte.

O horizonte Bi apresenta teores baixos do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  (2,86%), o que está particularmente associado ao material de origem, o riólito, pobre em Fe, com 1,76% do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  (Quadro 3).

O pedoambiente altimontano úmido é responsável pelo predomínio da Gt em relação aos demais óxidos de Fe no horizonte Bi. A coloração bruno-escuro a bruno (Quadro 3) do Bi deve-se à combinação da presença da Gt e do C orgânico.

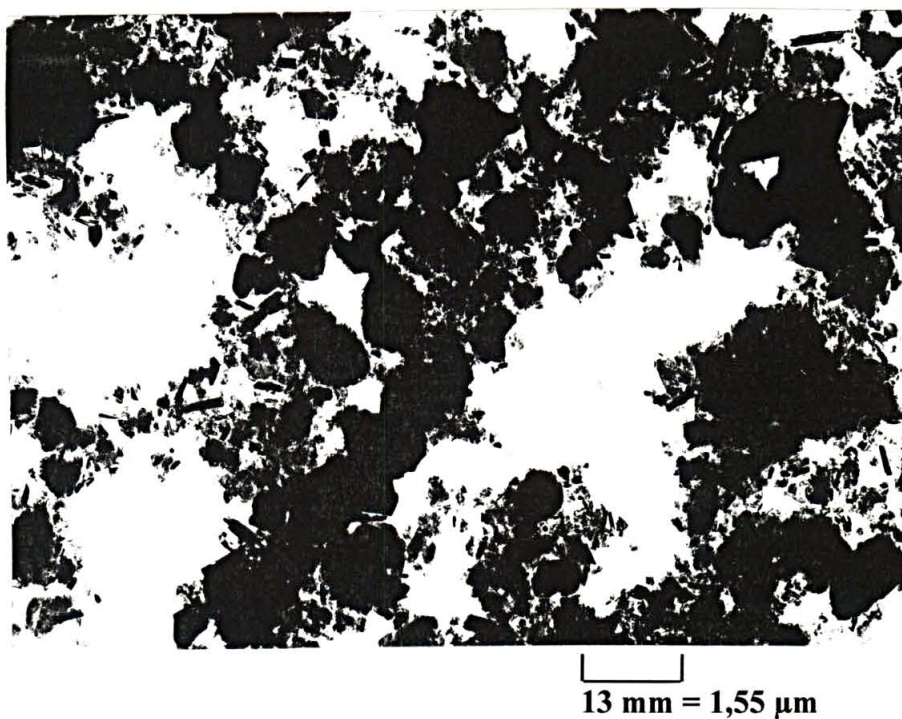


FIGURA 44 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 3

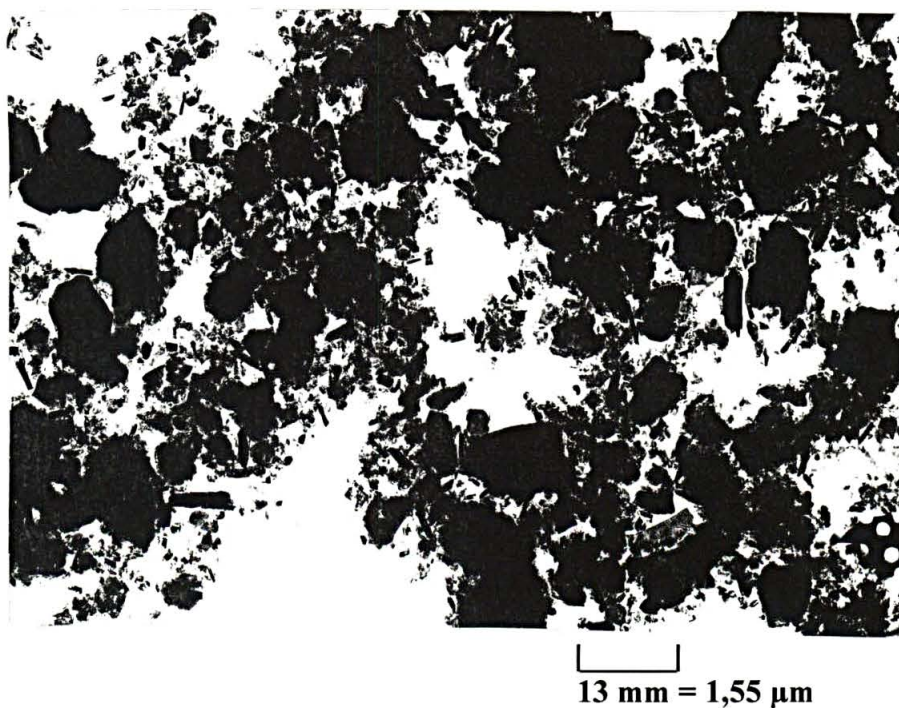


FIGURA 45 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 3



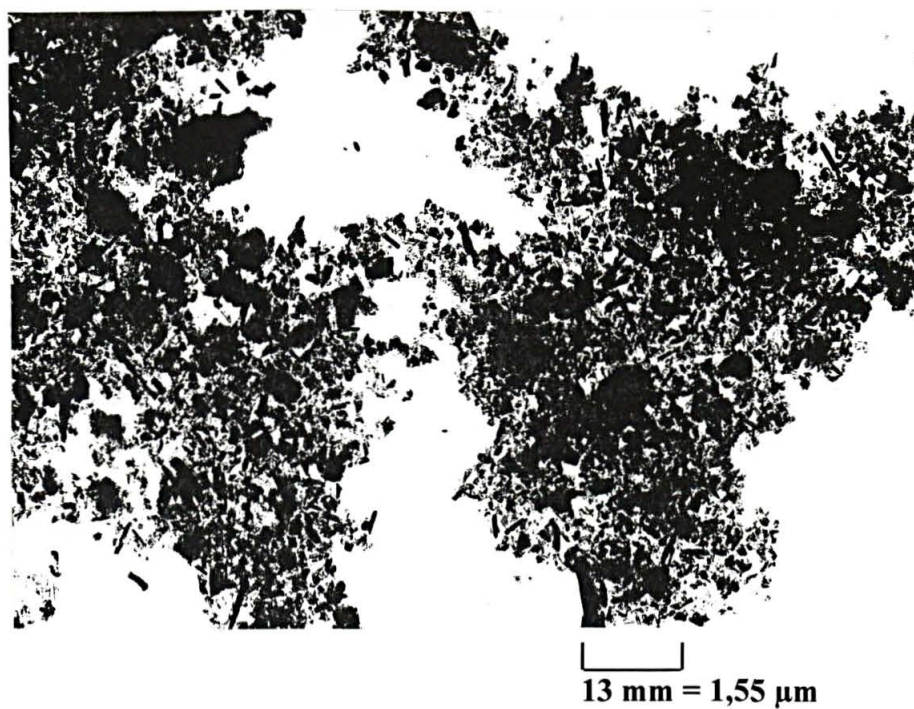


FIGURA 46 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bi DO PERFIL 3

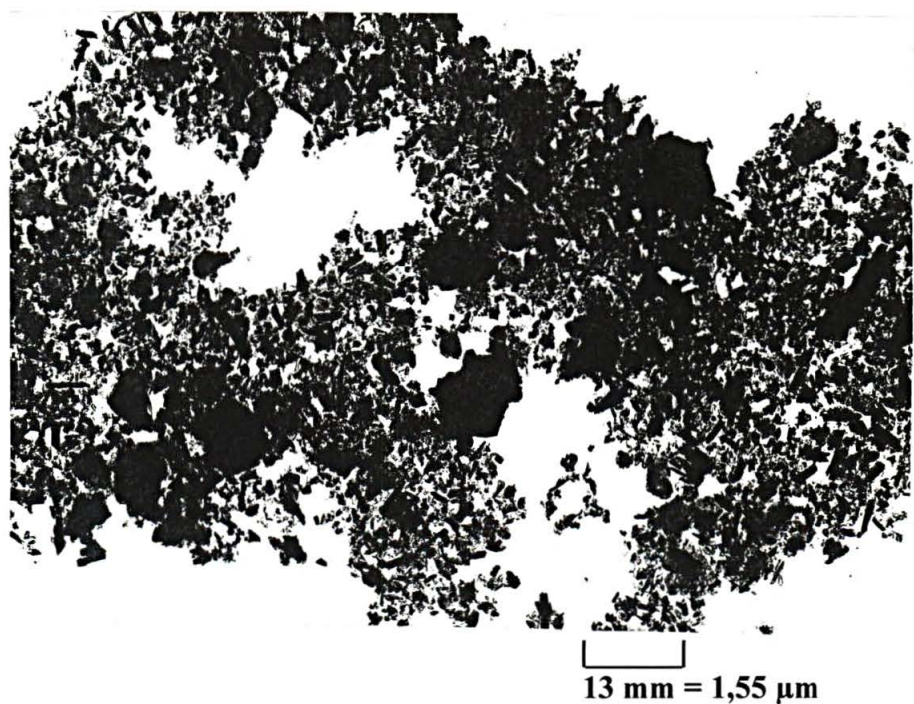
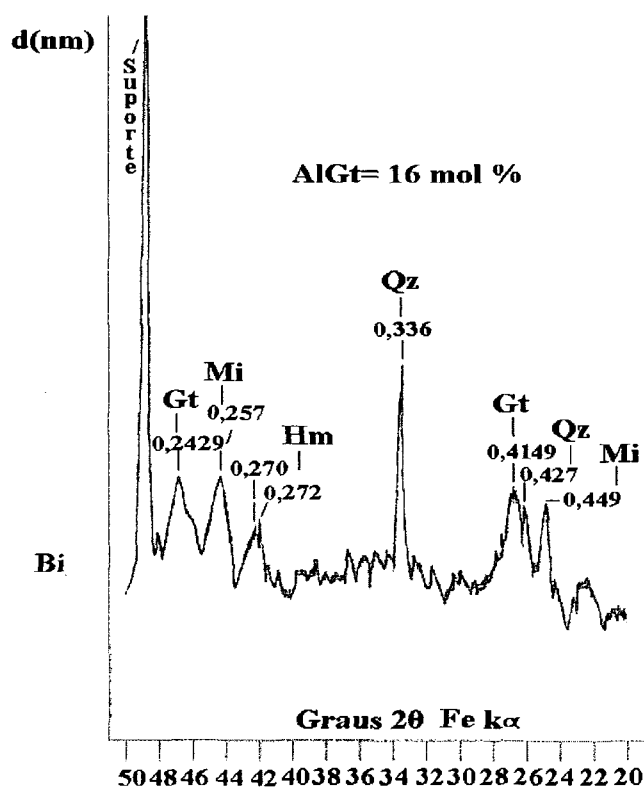


FIGURA 47 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Bi DO PERFIL 3



**FIGURA 48 - Difratoograma de raios-X dos óxidos do Perfil 3**

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3D}/\text{Fe}_2\text{O}_{3T}$  em todo o perfil mostra que a maioria do Fe se encontra na forma livre. No horizonte Bi a relação é de 0,69 (Quadro 3), indicando que 69% do Fe está na forma de óxidos e 31%, ligado aos silicatos.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3O}/\text{Fe}_2\text{O}_{3D}$  apresenta-se variável no perfil. Predomina a forma de baixa cristalinidade na superfície (A1, A2 e A3), porque são elevados os teores de C orgânico e em profundidade, a forma cristalina. No horizonte Bi a relação é de 0,14 (Quadro 3), indicando que 14% do Fe livre está na forma de baixa cristalinidade e

86%, na forma cristalina.

O teor do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3P}$  do horizonte Bi é de 0,21% (Quadro 3), indica que os teores menores do Fe no perfil encontram-se contidos na matéria orgânica.

Os horizontes A1, A2 e A3 apresentam teores elevados do  $\text{Al}_2\text{O}_{3O}$ , respectivamente 2,55%, 4,21% e 2,32% (Quadro 3).

Considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD no perfil, firmam-se os principais constituintes da fração argila nos horizontes Od e Bi. O Od apresenta como mineral predominante a VHE, secundariamente a Ka (alguma Ha), e a seguir a Gb; e, por último, vestígios da Mi e do Qz. Todavia, o Bi apresenta como mineral predominante a Gb, secundariamente a Ka (alguma Ha), e a seguir a VHE; e menores teores de Qz, Mi e Gt e, por último, vestígios do Fd.

As DRX das frações areia grossa (Figura 49) e areia fina (Figura 50), confirmam o predomínio do Qz em todos os horizontes pela intensidade maior e número maior dos seus picos. Também aparecem em todos os horizontes picos de intensidade baixa do Fd e de intensidade baixíssima da Mi.

Em que pese o predomínio da Gb no horizonte Bi, o perfil apresenta estágio incipiente de intemperismo, evidenciado pelas suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. As características morfológicas mostram o pouco desenvolvimento da cor e da espessura; a presença dos fragmentos da rocha. As características físicas mostram textura média pouco cascalhento e a relação silte/argila elevada. As características químicas mostram a relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  com valores moderados e a variação da relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  no perfil. As características mineralógicas da fração argila mostram teores baixos dos minerais secundários no perfil e a elevada diferenciação quantitativa da mineralogia dessa fração no perfil.

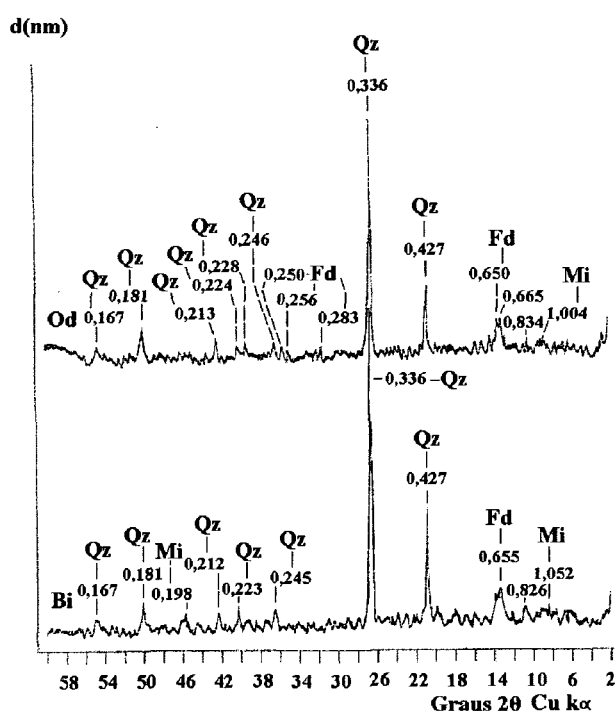


FIGURA 49 - Difratogramas de raios-X da fração areia grossa dos horizontes selecionados do Perfil 3

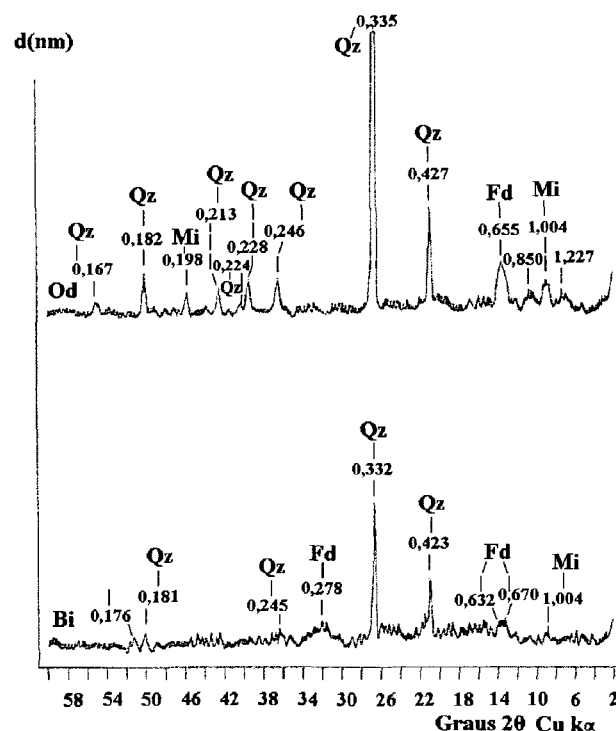


FIGURA 50 - Difratogramas de raios-X da fração areia fina dos horizontes selecionados do Perfil 3

Além disso, a posição no topo na paisagem favorece a drenagem desse solo, e o pedoambiente perúxico méxico contribui para a lixiviação intensa da sílica e das bases; e para a formação da Gb.

Nem sempre o solo (Bi) mais desenvolvido é o que apresenta teores maiores da Gb na fração argila, considerando que essa fração não é dominante no perfil. Por conseguinte, mesmo solos com grau baixo de desenvolvimento morfológico e físico, e com tempo relativamente curto de formação, apresentam sequência de intemperismo em que a maior parte do Fd se intemperiza diretamente para Gb, em consequência do pedoambiente perúxico.

Considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, firmam-se as prováveis sequências de transformações mineralógicas do horizonte Bi do Perfil 3:

- a) feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita;
- b) feldspato  $\Rightarrow$  caulinita  $\Rightarrow$  gibbsita,
- c) mica  $\Rightarrow$  VHE.

Em vista disso, o Fd é o mineral primário precursor da maioria dos minerais secundários da fração argila.



## 5.4 PERFIL 4

### 5.4.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

O Perfil 4 situa-se a 1.150 m de altitude e repousa na superfície geomórfica relacionada ao pediplano Pd<sub>2</sub>. Ocupa a posição mediana de uma encosta longa (Figura 11). O relevo local é montanhoso, apresentando pronunciada inclinação,

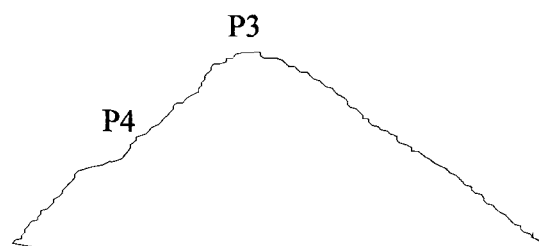


FIGURA 11 - POSIÇÃO NA PAISAGEM DO PERFIL 3 (P3) E DO PERFIL 4 (P4)

com declividade de 55%, e localiza-se na mesma elevação que o Perfil 3 (Figura 11). Apresenta-se coberto por vegetação primária de floresta ombrófila densa alto-montana ou subtropical perúmida altimontana, composta por árvores da família das aquifoliáceas (ervamate), entre outras, e também pela família das gramíneas (bambu), família das bromeliáceas, e pelo grupo das pteridófitas (samambaia) de acordo com a Descrição Geral (A).

O Perfil 4 (Figura 12) tem 78 cm de espessura, enquadrando-se na classe de profundidade, pouco profundo ( $> 50$  e  $\leq 100$  cm) e apresenta a seguinte seqüência de horizontes: Oo2-Oo1-Od-A-R, que é pouco comum aos solos brasileiros. A porção orgânica apresenta 41 cm de espessura, e é predominante (53%); enquanto a porção mineral tem 37 cm de espessura, constituindo 47% do perfil. Os primeiros 18 cm (Oo2 e Oo1) de espessura apresentam material orgânico de drenagem livre (O), de constituição essencialmente fibrosa, formado mormente de raízes finas e médias (mortas) e secundariamente por *litter* de folhas, galhos finos e cascas de árvores. As secções Oo, em decorrência de apresentarem incipiente evolução pedogenética (o), por serem pouco afetadas pelo processo pedogenético de decomposição, receberam a qualificação de camada. A secção Od recebe a qualificação de horizonte, por ser formada por material orgânico decomposto (d) e apresenta drenagem livre

(O). O horizonte Od apresenta espessura de 23 cm, estrutura granular, classe geral de textura média e coloração preta (7,5 YR N2/.). O horizonte A tem 37 cm de espessura, classe geral de textura média, coloração bruno muito escuro (7,5 YR 2/2) e estrutura em blocos subangulares. Essas características o distinguem morfológicamente do horizonte sobrejacente (Od), em concordância com a Descrição Morfológica (B).



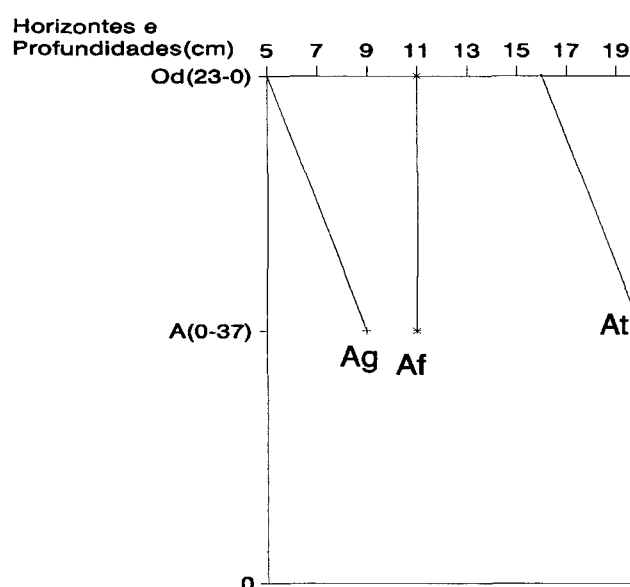
FIGURA 12 - FOTOGRAFIA DO PERFIL 4

A princípio, a diferenciação das camadas Oo realiza-se morfologicamente pela cor. A camada Oo2, por ser de deposição mais recente, encontra-se praticamente não decomposta, o que é evidenciado pela cor mais clara (10 YR 3/2) e pelo conteúdo de C orgânico (52,70%) (Quadro 4) mais alto. A camada Oo1, por ser derivada de deposição mais antiga, apresenta um estágio mais avançado de decomposição, traduzido pela cor mais escura (10 YR 2/1) e pelo teor de C orgânico (25,50%) mais baixo do que o da camada sobrejacente.

O horizonte Od diferencia-se morfologicamente da camada sobrejacente (Oo1) principalmente por seu material orgânico apresentar-se decomposto e também pela classe geral textura média e estrutura granular.

Na amostra total (Quadro 4), o teor de material grosseiro no perfil aumenta com a profundidade, enquanto o da terra fina diminui. As camadas Oo não apresentam material grosseiro e os teores de terra fina são muito baixos, o que tornou inviável a sua determinação. O horizonte Od apresenta teor de cascalho de 1% e de terra fina de 99%, demonstrando que o intemperismo é mais intenso nesse horizonte, do que no horizonte subjacente (A), cujo valor da terra fina é de 82% e os teores do material grosseiro são da ordem de 14% de calhau e 4% de cascalho.

No horizonte Od, as areias apresentam valores bem distantes: a areia grossa (Ag) com 5% e a areia fina (Af) com 11%; enquanto no horizonte A os valores das areias tornam-se mais próximos, respectivamente, 9% e 11% (Figura 13).



A distribuição da Ag em **FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO DAS AREIAS DO PERFIL 4**

profundidade apresenta um aumento significativo, passando de 5% para 9%, no entanto a Af permanece constante com 11% (Figura 13). Apesar das diferenças nos teores da Af e da Ag no horizonte Od e do aumento razoável da Ag com a profundidade, isso não significa descontinuidade litológica; devido à posição do perfil na paisagem, numa rampa declivosa, que é virtualmente uma região que predominou antes do estabelecimento do material orgânico, o processo pedogenético de perdas por erosão; portanto, a rigor a rampa é uma região de perda e não de ganho de material. A partir disso, considera-se que o material de origem é o riólito e o solo, seu produto de alteração *in situ*.

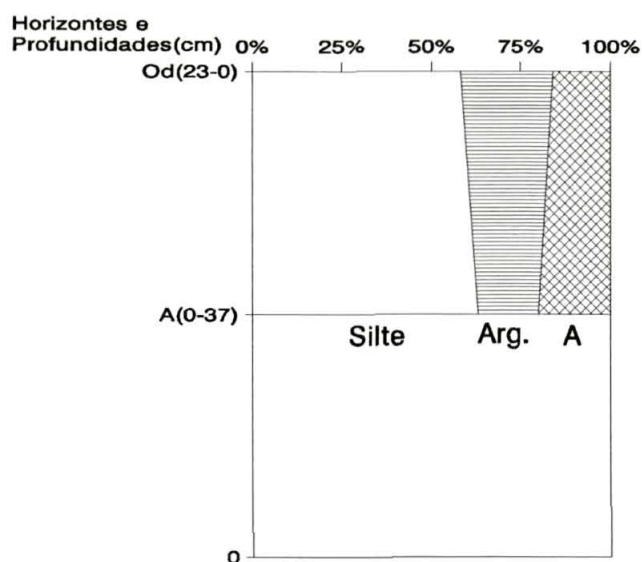


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4

horizonte Od é 26% e passa para 17% no A.

A relação silte/argila é elevada tanto no horizonte Od (2,23), como no A (3,70) (Quadro 4), demonstrando os elevados teores de silte no perfil.

As características da porção orgânica e da mineral indicam pouca evolução pedogenética do Perfil 4. As camadas Oo praticamente não sofreram ação do processo pedogenético de decomposição. Na porção mineral predomina a fração silte na maioria do perfil, e apresenta, ainda, cascalho e calhau. A morfologia também expressa o grau de pouco

A composição granulométrica (Figura 14) evidencia a supremacia da fração silte em relação às demais. No horizonte Od o teor de silte é de 58% e aumenta um pouco com a profundidade, atingindo 63% no A. Igualmente a fração areia (A) aumenta um pouco em profundidade: no horizonte Od apresenta 16% e passa para 20% no A. A fração argila diminui com a profundidade: no

desenvolvimento do solo, através do atributo de pouca profundidade e do predomínio dos matizes brunos.

Os valores de  $\Delta pH$  negativos (Quadro 4) em todo o perfil evidenciam o predomínio das cargas negativas e apontam à hegemonia dos argilominerais e da matéria orgânica em relação aos conteúdos de óxidos de Fe.

A soma de bases (S) mantém-se mais elevada nas camadas Oo2 e Oo1 respectivamente, 4,3 cmol/kg e 3,4 cmol/kg de solo (Quadro 4), no entanto declina para 0,5 cmol/kg de solo no restante do perfil. Igualmente os teores de fósforo são altos nas camadas Oo2 e Oo1 respectivamente, 34 mg/kg e 20 mg/kg de solo, e declinam para valores muito baixos ( $\leq 3$  mg/kg de solo) no restante do perfil. Em suma, as camadas Oo apresentam maiores teores de nutrientes, constituindo-se em reservas que serão liberadas à medida que o material for se decompondo, enquanto o restante do perfil é extremamente pobre em nutrientes. A concentração de nutrientes nas camadas Oo deve-se provavelmente à absorção de nutrientes das camadas mais profundas que, por ciclagem, se acumularam na superfície.

A acidez não trocável (H) diminui com a profundidade, juntamente com o C orgânico. Na camada Oo2 a acidez não trocável é de 79,4 cmol/kg de solo (Quadro 4) e declina para 13,4 cmol/kg de solo no horizonte A. Isso se deve ao fato dos horizontes superficiais serem essencialmente orgânicos, apresentando principalmente o H dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica, do que o H da oxidrila da caulinita e dos óxidos de Fe e Al.

A CTC potencial (Quadro 4) é elevada na porção orgânica e também se mantém elevada no horizonte A, em decorrência dos elevados teores de C orgânico. Na porção orgânica seus valores são elevados em decorrência absoluta dos elevados conteúdos de C orgânico, e na porção mineral também se mantém elevados devido a ele; pois os cálculos da CTC mineral são negativos, indicando minerais de muito baixa atividade.

O horizonte A apresenta  $K_i$  de 0,98 (Quadro 4), sugerindo a presença da caulinita com gibbsita.

Todo o perfil apresenta caráter álico (Quadro 4), que aumenta com a profundidade. As camadas Oo, o horizonte Od e o A apresentam os respectivos teores de saturação por Al (m): 70% (média); 93% e de 89%.

#### 5.4.2 CLASSIFICAÇÃO

A classificação do Perfil 4 está de acordo com a Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 14) e EMBRAPA (1988b, p. 2, 13-15); e com a proposta realizada no Perfil 3 para material orgânico e horizonte orgânico de drenagem livre; e com a Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 44, 161, 182) no nível de Grande Grupo.

De acordo com a classificação em vigor, as camadas Oo2 e Oo1 apresentam os respectivos teores de C orgânico: 52,70% e 25,50% (Quadro 4); a porção mineral é exígua, o que permite considerar inexistente a fração argila e cumprem o teor mínimo exigido de C orgânico de 8% para material orgânico. Por sua vez, o horizonte Od apresenta 26% de teor de argila e de 13,41% de C orgânico (Quadro 4); portanto satisfaz à condição mínima de 9,74% de C orgânico em relação ao teor de argila para material orgânico.

Como resultado, as camadas Oo2 e Oo1 e o horizonte Od são material orgânico sob condições de drenagem livre e apresentam espessura de 41 cm. Todavia a classificação em vigor somente admite como horizonte orgânico, o turfoso, que se encontra obrigatoriamente sob condições de drenagem impedida e cujos limites de espessura são  $> 20$  cm e  $< 40$  cm. Portanto o material orgânico em questão não é classificado como horizonte turfoso porque não cumpre os requisitos exigidos de drenagem e de espessura. Apesar do material orgânico

apresentar as condições exigidas de C orgânico e de espessura para Solo Orgânico, não pode ser classificado como tal, devido à sua condição de drenagem livre.

Em suma, de acordo com o esquema em vigor, não é possível realizar uma classificação que contemple satisfatoriamente o material orgânico em apreço. Geralmente, por falta de opção adequada, ele é indevidamente classificado como horizonte turfoso ou até como Solo Orgânico, à revelia da sua condição de drenagem.

De acordo com a proposta elaborada no perfil anterior, as camadas orgânicas Oo2 e Oo1 e o horizonte orgânico Od apresentam os respectivos teores de C orgânico: 52,70%; 25,50% e 13,41% (Quadro 4). Portanto, cumprem os requisitos para material orgânico e horizonte orgânico de drenagem livre: os teores de C orgânico são  $\geq 13,33\%$ ; estão sob condições de drenagem livre; o horizonte mineral (A) subjacente ao material orgânico tem espessura  $> 10$  cm (é de 37 cm). Por fim, o material orgânico (Oo1, Oo2 e Od) recebe a classificação de horizonte folístico.

O horizonte A (Quadro 4) tem 37 cm de espessura, a coloração (úmido) é bruno muito escuro (7,5 YR 2/2) e o teor de C orgânico é de 4,08% (Quadro 4). Por apresentar todas as características requeridas para A proeminente e, ainda, maior desenvolvimento expresso pelo elevado teor de C orgânico, associado à cor mais escura, foi classificado como A húmico.

De acordo, com a classificação em vigor (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 14), os Solos Litólicos geralmente apresentam pouca espessura até a rocha e as seguintes seqüências de horizontes: A-R ou A-C-R, enquanto os Regossolos apresentam a seqüência de horizontes, A-C.

De acordo com EMBRAPA do Paraná (1984, p. 713), a profundidade dos Solos Litólicos, varia entre 20 cm e 80 cm; portanto, varia de raso ( $\leq 50$  cm) a pouco profundo ( $> 50$  cm e  $\leq 100$  cm); e podem apresentar as seguintes seqüências de horizontes: A-R, A-C, A-



C-R, A-B-C, e A-B-R. Dos 23 perfis de Solos Litólicos descritos pela EMBRAPA (1984, p. 760-781): 9 são pouco profundos, com espessura máxima de 79 cm e mínima de 55 cm, enquanto a maioria (ou 14 perfis) são rasos, com espessura máxima de 50 cm e mínima de 25 cm. Quanto à classe dos Regossolos não foram descritos no Estado.

Segundo OLIVEIRA *et al.* (1992, p. 175), os Solos Litólicos são rasos, com  $\leq 50$  cm até o substrato rochoso e podem apresentar as seguintes seqüências de horizontes: A-R, A-C-R ou A-Bi-C-R. Já a classe dos Regossolos apresenta as seqüências de horizontes A-C ou A-C-R e a espessura do A+C  $> 50$  cm.

A classificação em vigor apresenta-se reticente em relação à espessura dos Solos Litólicos, quando se refere a ela com a expressão genérica de “pouca espessura”, a despeito de se tratar da característica distintiva magna dos Solos Litólicos. Isso abriu precedente para que a EMBRAPA (1984) e OLIVEIRA *et al.* (1992) adotassem critérios próprios ou peculiares a cada Estado, em relação à espessura. Portanto, por exemplo um solo com seqüência A-C e espessura de 60 cm, de acordo EMBRAPA (1984) do Paraná, é Solo Litólico, enquanto que de acordo OLIVEIRA *et al.* (1992) é Regossolo.

O Perfil 4 apresenta a seguinte seqüência de horizontes Oo2-Oo1-Od-A-R. Além de apresentar a seqüência típica (A-R) dos Solos Litólicos, apresenta também o material orgânico sobrejacente, que é peculiar dos solos altimontanos da região da Serra do Mar. Ademais, ele é pouco profundo ( $> 50$  e  $\leq 100$  cm), com espessura de 78 cm, que pode ser interpretada como “pouca espessura”, de acordo com o referencial em vigor.

Conforme o exposto acima, não há unanimidade em relação à espessura dos Solos Litólicos. A classificação em vigor, que é o referencial teórico, não apresenta objetividade em relação à sua característica distintiva, a profundidade.



Em suma, a classificação do Perfil 4 como Solo Litólico fundamenta-se sobretudo na sequência de horizontes A-R, típica dos Solos Litólicos, pois a dos Regossolos é A-C e também por apresentar classe de profundidade, pouco profundo. Em que pese a fragilidade da característica distintiva profundidade, mas considerando a generalidade com que a classificação em vigor se refere a ela com o termo “pouca espessura”, que até pode ser interpretado como raso e pouco profundo; e também por os Solos Litólicos do Paraná apresentarem a peculiaridade de incluir ambas as classes de profundidade: raso e pouco profundo.

A classificação do perfil de acordo com a classificação em vigor é Solo Litólico Álico argila de atividade baixa A húmico textura média.

A classificação do perfil de acordo com a proposta elaborada aqui é Solo Litólico Álico argila de atividade baixa folístico A húmico textura média.

#### 5.4.3 PROPOSTA PARA CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS ORGÂNICOS DE DRENAGEM LIVRE

A apresentação dessa proposta tem o objetivo de ampliar a classificação de solos em uso no Brasil, para que cumpra o seu propósito maior que é contemplar e tornar classificável toda a população de solos existente no País. Já, que, os Solos Orgânicos de drenagem livre, não são mencionados na classificação em vigor, porque praticamente inexistem descrições deles, em consequência de sua pequena expressão geográfica e localização em áreas de difícil acesso.

Além disso, com o intuito de complementar a proposta enunciada anteriormente para material orgânico de drenagem livre e horizonte orgânico nas mesmas condições de drenagem, será efetuada também a proposição de Solo Orgânico de drenagem livre. Em que pesem não sejam absolutamente orgânicos, os solos estudados nesse trabalho, e sim solos afins com os orgânicos de drenagem livre; a proposta se justifica em virtude da existência de tal classe dentro

da população de solos brasileiros, como é comprovada com o Solo Litólico (Lavras) (BRASIL, 1973, p. 344) e com o Perfil 2 (RODERJAN, 1994, p. 108); então isso, permite o aproveitamento de tais dados e sua aplicação para melhoria da Classificação de Solos Usada em Levantamentos Pedológicos no Brasil. Segue a proposta para Solo Orgânico de drenagem livre:

Solo Orgânico de drenagem livre deve apresentar:

- a) teor de C orgânico  $\geq 13,33\%$  e;
- b) condições de drenagem livre, ou ocasional saturação por somente poucos dias ( $< 30$  dias consecutivos) e;
- c) material orgânico com  $< 75\%$  do seu volume constituído de fibra de esfagno e;
- d) qualquer espessura, desde que:
  - repouse diretamente sobre contato lítico ou litóide ( $< 1$  m da superfície), ou;
  - repouse sobre material fragmentar (cascalho, calhau) e os seus interstícios sejam preenchidos total ou parcialmente com material orgânico, ou;
  - horizonte mineral  $\leq 10$  cm entre o contato (lítico ou litóide) e o material orgânico; e a espessura do material orgânico deve ser no mínimo o dobro da espessura do horizonte mineral subjacente.

A justificativa para a exigência de espessura máxima de 10 cm para o horizonte mineral subjacente ao Solo Orgânico é para garantir que as raízes das plantas desenvolver-se-ão exclusivamente no material orgânico. Essa proposição é derivada da Classificação Americana de 1975.

A classificação do solo da unidade de mapeamento Lavras (BRASIL, 1973, p. 344), de acordo com a classificação em vigor, não é possível de forma precisa. Esse perfil apresenta um único horizonte com espessura de 30 cm sobre o contato lítico; o teor de argila é de 33% e o

de C orgânico é de 22,40%, satisfazendo assim, o teor mínimo exigido de 10,21% C orgânico para material orgânico em relação ao teor de argila; a sua drenagem é livre. Apesar de apresentar material orgânico, não pode ser classificado como Solo Orgânico, porque não apresenta as condições exigidas de hidromorfismo e de espessura ( $\geq 40$  cm).

A classificação do solo da unidade de mapeamento Lavras (BRASIL, 1973, p. 344) de acordo com a proposta elaborada aqui, é Solo Orgânico de drenagem livre, porque apresenta todos os requisitos para tal: o teor de C orgânico é  $\geq 13,33\%$  (é 22,40%) e; a drenagem é livre (boa drenagem); e repousa diretamente sobre a rocha (andesito).

A classificação da unidade de mapeamento Lavras (BRASIL, 1973, p. 344), de acordo com a Chave da Classificação Americana (ESTADOS UNIDOS, 1994, p. 22, 25, 41, 151, 155), é da ordem dos *Histosols*, por o teor de C orgânico ser  $\geq 13,33\%$  (é 22,40%) e repousar diretamente sobre o contato lítico; é da subordem dos *Folists*, por a drenagem ser livre, e ter contato lítico dentro de 100 cm da superfície do solo e ter  $< 3/4$  de fibras de esfagno; é do Grande Grupo *Medifolists* que são outros *Folists*.

Ainda pode-se fazer predições seguras sobre a ocorrência de Solos Orgânicos de drenagem livre na Serra do Mar-PR, e que as condições favoráveis para o seu desenvolvimento são as altitudes superiores a 1.300 m.

Convém assinalar que a 3.<sup>a</sup> Aproximação (EMBRAPA, 1988c, p. 57) e a classificação vigente (CAMARGO *et al.*, 1987, p. 15), são unânimes em relação à condição de hidromorfismo para a classe dos Solos Orgânicos. Mas dentro do grupamento dos Solos Orgânicos da 3.<sup>a</sup> Aproximação estão incluídos os Solos Semi-Orgânicos e os Solos Litólicos turfosos, para os quais ainda não há definição. Talvez em breve com a definição dessas classes de solos e se houver uma ampliação na definição do grupamento dos Solos Orgânicos, de

forma que contemple também a condição de drenagem livre, o Perfil 4 desse trabalho fará parte do grupamento dos Solos Orgânicos como um Solo Paraorgânico de drenagem livre.

Uma outra possibilidade ainda é a criação de uma característica *intergrade* para Solo Orgânico, ou seja, a característica *intergrade* orgânica. Dessa forma o Perfil 4 seria classificado como Solo Litólico orgânico.

QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ÓXIDOS DE Fe E Al, RAZÕES ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ ) E Ki DO PERFIL 4

Horizonte		Cor (úmido)	Frações da amostra total (%)			Composição granulométrica (%)				silte/ argila
Símbolo	Profundi- dade (cm)		Calhau 200-20 mm	Cascalho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,2 mm	Areia fina 0,2-0,05 mm	Silte (mm) 0,05-0,002	Argila < 0,002 mm	
Oo2	41-29	10 YR 3/2	-	- * <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
Ool	29-23	10 YR 2/1	-	-	-	-	-	-	-	-
Od	23-0	7,5 YR N2/.	0	1	99	5	11	58	26	2,23
<b>A</b>	<b>0-37</b>	<b>7,5 YR 2/2</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>82</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>63</b>	<b>17</b>	<b>3,70</b>
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

pH (1:2,5)			Complexo sortivo (cmol/kg solo)								V (%)	m (%)	P (mg/kg)	C (%)
H <sub>2</sub> O	KCl N	ΔpH	Ca	Mg	K	S * <sup>2</sup>	Al * <sup>3</sup>	H+Al * <sup>4</sup>	H * <sup>5</sup>	CTC p * <sup>6</sup>				
3,9	2,8	-1,1	0,5	3,3	0,49	4,3	9,8	89,2	79,4	93,5	5	70	34	52,70
4,1	3,2	-0,9	0,7	2,3	0,36	3,4	7,7	70,2	62,5	73,6	5	70	20	25,50
4,5	3,6	-0,9	0,3	0,2	0,05	0,5	7,8	30,0	22,2	30,6	2	93	3	13,41
<b>5,2</b>	<b>4,2</b>	<b>-1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,01</b>	<b>0,5</b>	<b>4,1</b>	<b>17,5</b>	<b>13,4</b>	<b>18,0</b>	<b>3</b>	<b>89</b>	<b>2</b>	<b>4,08</b>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) * <sup>7</sup> e as razões							% de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * <sup>7</sup> e o índice Ki					
Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3O</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3D</sub>	SiO <sub>2S</sub>	Ki	Al <sub>2</sub> O <sub>3T</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3S</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3O</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3P</sub>
0,32	-	-	-	-	-	-	0,01	-	1,15	-	-	-
0,32	-	-	-	-	-	-	0,01	-	1,15	-	-	-
2,68	2,21	1,79	0,92	1,03	0,67	0,51	6,53	1,68	7,31	6,59	1,04	0,93
<b>3,50</b>	<b>2,68</b>	<b>2,08</b>	<b>0,96</b>	<b>0,76</b>	<b>0,59</b>	<b>0,46</b>	<b>6,05</b>	<b>0,98</b>	<b>14,86</b>	<b>10,55</b>	<b>2,11</b>	<b>1,51</b>
0,54	-	-	-	-	-	-	-	-	14,77	-	-	-

\*<sup>1</sup> não determinado; \*<sup>2</sup> soma de bases; \*<sup>3</sup> acidez trocável; \*<sup>4</sup> acidez potencial; \*<sup>5</sup> acidez não trocável; \*<sup>6</sup> p- potencial; \*<sup>7</sup> T- total, S- sulfúrico, D- ditionito, O- oxalato, P- pirofosfato

## A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL - Nº 4

DATA - 12/05/1993

CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA - LITÓLICO ÁLICO argila de atividade baixa A húmico textura média fase subtropical perúmida altimontana relevo montanhoso substrato riólito.

CLASSIFICAÇÃO PROPOSTA - LITÓLICO ÁLICO argila de atividade baixa folístico A húmico textura média fase subtropical perúmida altimontana relevo montanhoso substrato riólito.

CLASSIFICAÇÃO AMERICANA - UDORTHENTS

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Situado a 30 km de Curitiba (SCA-UFPR), acesso pela BR 277, entrada à esquerda antes do primeiro posto da polícia rodoviária no km 653, na Vila Miringuava em São José dos Pinhais-PR, na Serra do Mar, a 25° 44' 17" S e 49° 04' 48" W GR.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada na porção média da elevação com cerca de 55% de declive e sob cobertura de floresta primária (ervamate, bambu e samambaia)

ALTITUDE - 1.150 m

LITOLOGIA - Riólito

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Guaratubinha

ERA - Eopaleozóica

PERÍODO - Cambriano

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produtos de alteração do riólito

PEDREGOSIDADE - Endopedregosa (Fase pedregosa III)

ROCHOSIDADE - Não rochosa

RELEVO LOCAL - Montanhoso

RELEVO REGIONAL - Montanhoso

EROSÃO - Não aparente

DRENAGEM - Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Subtropical perúmida altimontana (ou floresta ombrófila densa alto-montana)

USO ATUAL - Floresta primária

CLIMA - Cfb da classificação de Köppen

DESCRITO E COLETADO POR - N. L. B. GHANI e A. SANTOS FILHO

## B. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Oo2 41-29 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido), bruno-escuro a bruno (10 YR 4/3, seco); fibrosa; muitas raízes finas e *litter* de folhas, galhos finos, casca de árvore; transição clara e plana.
- Oo1 29-23 cm, preto (10 YR 2/1, úmido), bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); fibrosa; muitas raízes finas e *litter* de folhas, galhos finos, casca de árvore; transição abrupta e plana.
- Od 23-0 cm, preto (7,5 YR N2/., úmido), bruno muito escuro (10 YR 2/2, seco); franco-argilo-siltoso; forte muito pequena a pequena granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e plana; raízes muitas.
- A 0-37 cm, bruno muito escuro (7,5 YR 2/2, úmido), bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); franco-siltoso; moderada grande blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição abrupta e plana; raízes poucas.
- R matações de riólito.

Observação: Presença de cascalho no horizonte Od; no horizonte A, ocorrência cascalho e de calhau. Todo o material grosseiro é de riólito.

#### 5.4.4 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES ARGILA E AREIA, GÊNESE E AS FORMAS DE $\text{Fe}_2\text{O}_3$ E $\text{Al}_2\text{O}_{30}$

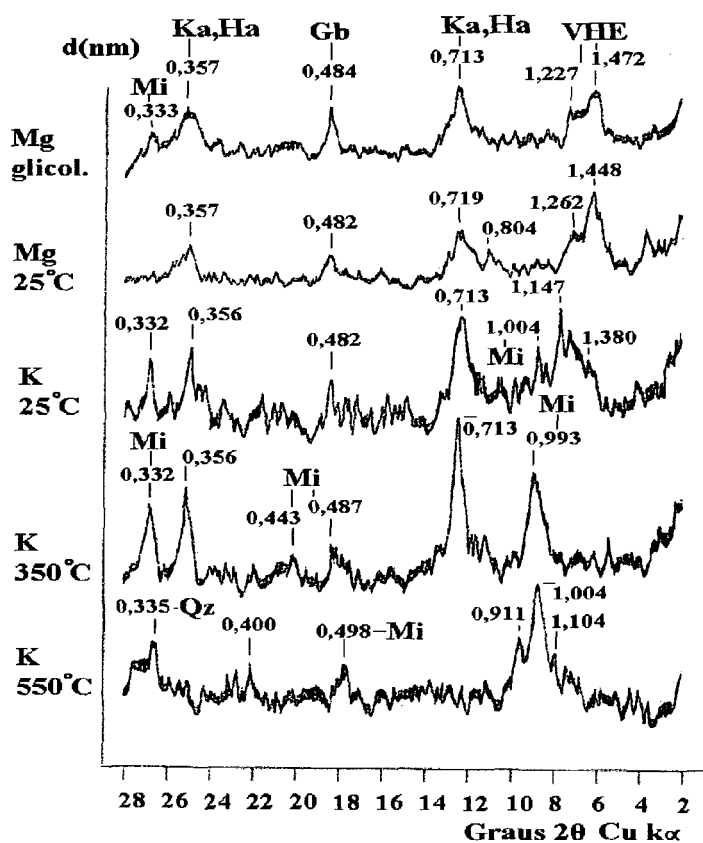


FIGURA 51 - Difrátogramas de raios-X da fração argila desferrificada do horizonte Od do Perfil 4

No horizonte Od, a VHE apresenta nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C e K 25°C, respectivamente, as bandas 1,227 nm a 1,472 nm; 1,262 nm a 1,448 nm; e 1,147 nm a 1,380 nm (Figura 51). A formação de banda já inicia no tratamento Mg glicol, e ainda no tratamento K 550°C ocorre um forte colapso, formando um pico com reflexo de 1,004 nm, acompanhado por dois ombros: 1,104 nm e 0,911 nm. A partir disso, pode-se estimar um grau

de preenchimento das entrecamadas muito baixo.

No horizonte Od a presença da Ka é indicada pelos respectivos picos de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem nos tratamentos Mg glicol, Mg 25°C, K 25°C e K 350°C: 0,713 nm, 0,719 nm; e 0,357 nm, 0,356 nm (Figura 51), que desaparecem no tratamento K 550°C. Os picos da Ka apresentam intensidade baixa e simetria baixa, indicando quantidade baixa e/ou a presença de alguma Ha. Todavia, na maioria dos tratamentos (salvo Mg 25°C) seus picos são ligeiramente superiores aos dos demais minerais.

A ATD evidencia a predominância da Ka em relação à Gb, respectivamente 89% e 11% (Figura 52). O pico endotérmico da Ka é 586°C.

No horizonte Od a existência da Gb é verificada nos tratamentos Mg glicol; Mg 25°C e K 25°C, respectivamente pelos picos, 0,484 nm; e 0,482 nm (Figura 51). O pico apresenta intensidade moderada, se considerar a baixa sensibilidade da DRX para detectar a Gb. A sua presença é confirmada na ATD com o pico endotérmico de 333°C (Figura 52).

No horizonte Od a presença da Mi é identificada pelos tratamentos Mg glicol, K 25°C, K 350°C e K 550°C, através dos respectivos picos 0,333 nm; 1,004 nm, 0,332 nm; 0,993 nm, 0,487 nm, 0,443 nm, 0,332 nm; e 0,498 nm (Figura 51). No tratamento K 550°C, o pico de 1.<sup>a</sup> ordem da Mi está provavelmente sobreposto ao da VHE: em que existe um pico principal de reflexo 1,004 nm, com dois ombros de 1,104 nm e 0,911 nm.

No horizonte Od, as

fotomicrografias (Figuras 53, 54) mostram a presença da Ka através das placas pseudo-hexagonais, enquanto os tubos sugerem a da Ha. A Ka e Ha apresentam praticamente teores iguais e tamanhos variados conforme revela a microscopia eletrônica.

A DRX (Figura 51) mostra certo grau de assimetria nos reflexos da Ka e da Ha, que conforme ilustrado pela microscopia eletrônica está relacionada à presença da Ha.

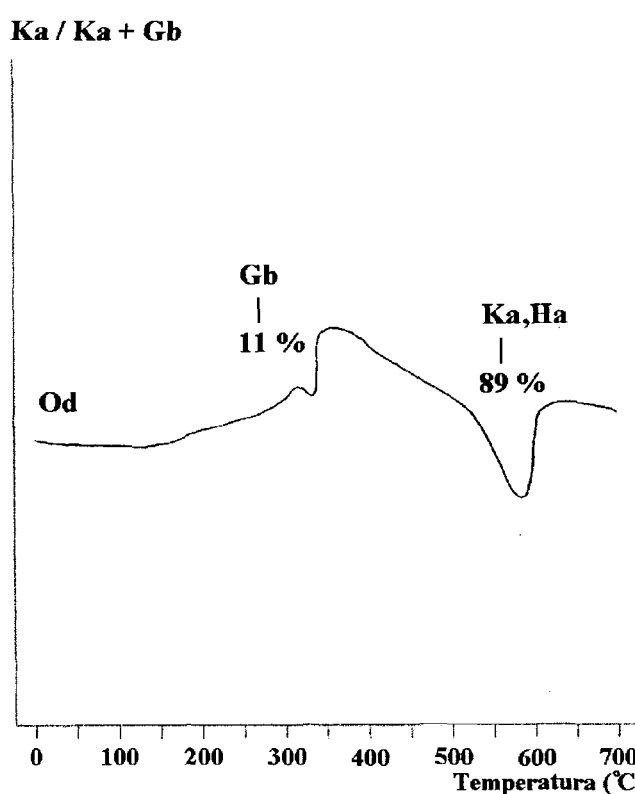


FIGURA 52 - Termograma da fração argila desferificada do horizonte selecionado do Perfil 4



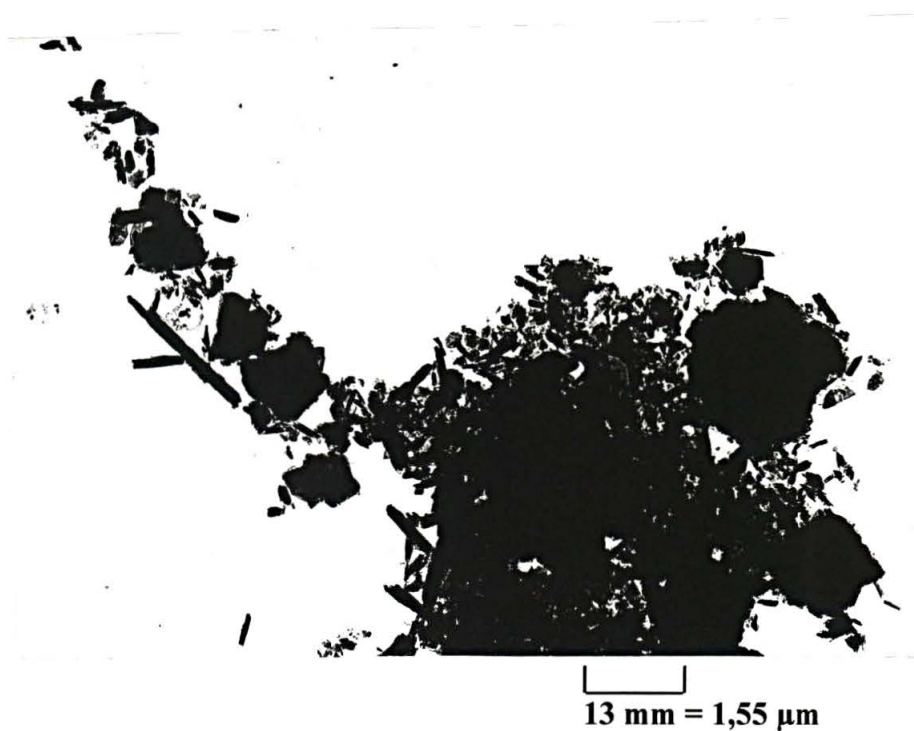


FIGURA 53 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 4

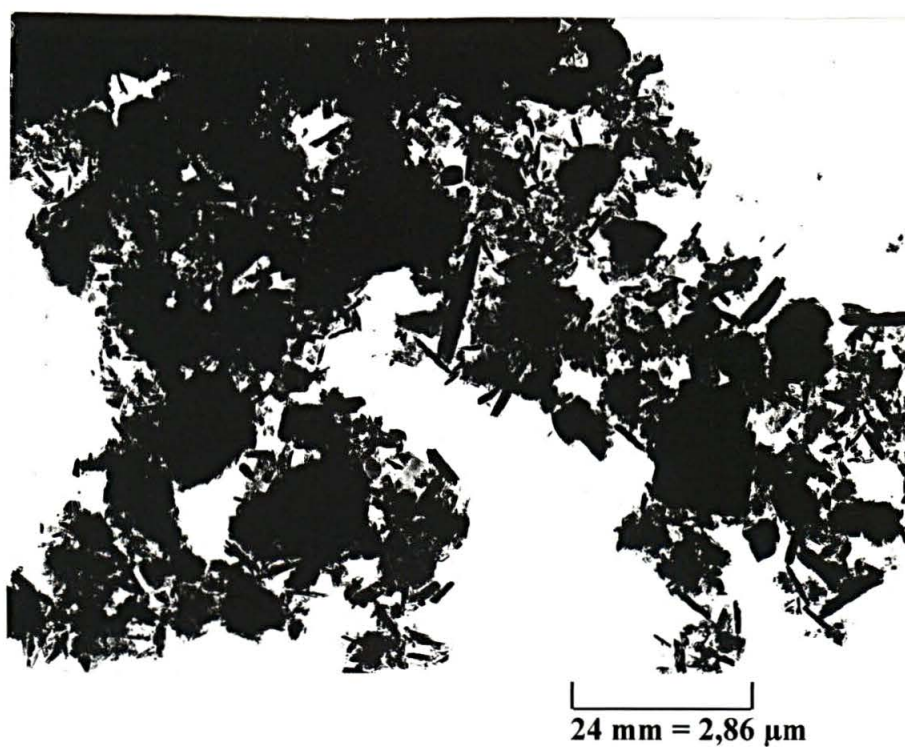
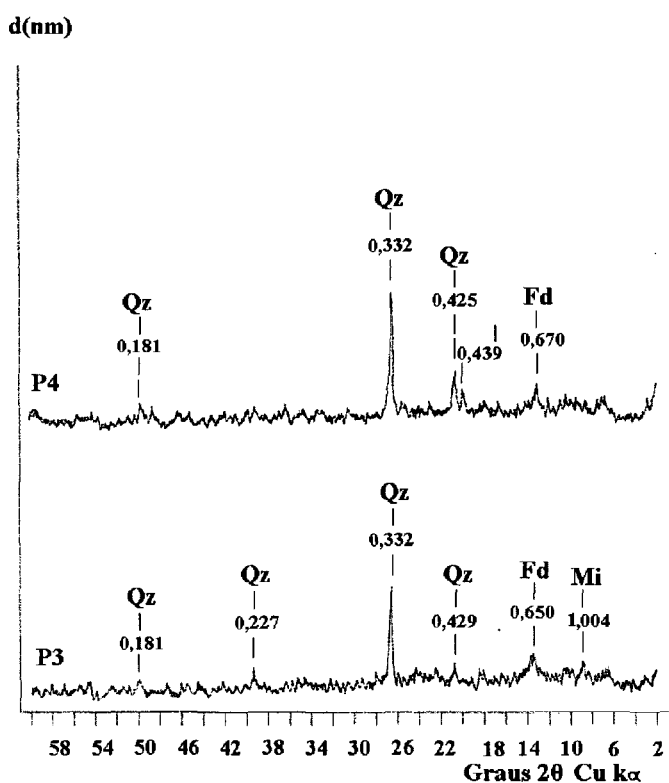


FIGURA 54 - FOTOMICROGRAFIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA DO HORIZONTE Od DO PERFIL 4



No Perfil 4 (P4), a DRX do riólito mostra a presença predominante do Qz, através da intensidade maior e pelo número maior dos seus picos, a saber, 0,425 nm, 0,332 nm e 0,181 nm; secundariamente, o Fd com o pico 0,670 nm (Figura 40) de intensidade baixa.

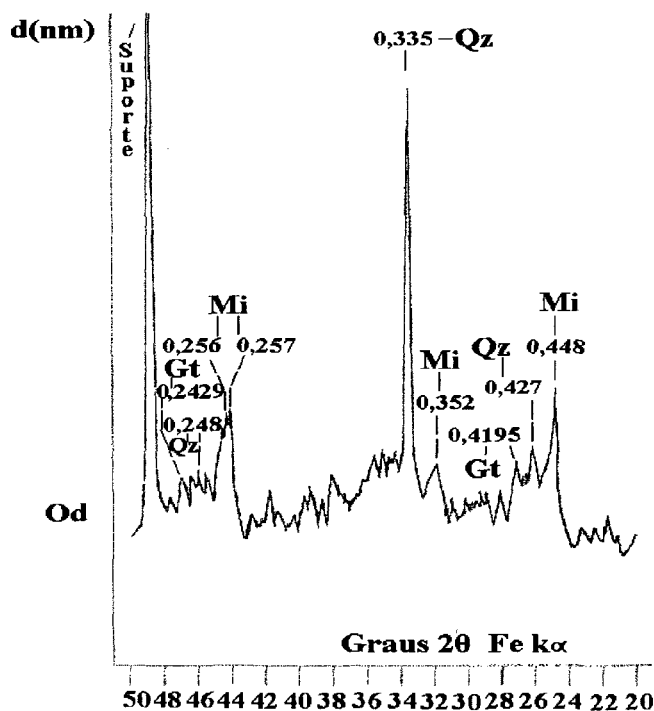
O único óxido de Fe cristalino presente na fração argila é a Gt, com os picos 0,412 nm e 0,243 nm (Figura 55).

A intensidade muito baixa dos seus picos

indica conteúdo baixo. Ademais a presença do Qz e da Mi causa alguma interferência nos picos da Gt, dificultando sua identificação.

Na concentração dos óxidos de Fe também aparece um pico intenso do Qz, o 0,335 nm, e o pico 0,427 nm (Figura 55) de intensidade baixa; e ainda picos da Mi com reflexos de 0,448 nm, 0,257 nm de intensidade moderada e o 0,352 nm, de baixa.

O pedoambiente altimontano perúdicico mésico favorece a formação da Gt. A intensidade baixíssima dos seus picos indica teores baixos de óxidos de Fe, que é



confirmado pelo teor baixo do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$ , (1,79%) no horizonte Od (Quadro 4).

O perfil apresenta teores baixos do  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$ , com 2,68% (Quadro 4) no horizonte Od, o que se deve ao teor baixo do Fe no riólito, com 0,54%.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{T}}$  no horizonte Od é 0,67 (Quadro 4), o que indica que 67% do Fe está na forma livre (óxidos de Fe) e 33%, ligado aos silicatos; e no A essa relação declina para 0,59.

A relação  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{O}}/\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{D}}$  no horizonte Od é 0,51 (Quadro 4), indicando que 51% do Fe livre está na forma de baixa cristalinidade e 49%, na forma cristalina.

Como resultado, no horizonte Od a maioria do Fe encontra-se livre dos silicatos primários e praticamente a metade está na forma de baixa cristalinidade, e a outra metade na forma cristalina, o que confirma o grau de desenvolvimento baixo do solo.

O horizonte Od apresenta 1,03% (Quadro 4) do Fe ( $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{P}}$ ) contido na matéria orgânica.

O  $\text{Al}_\text{O}$  apresenta os respectivos teores nos horizontes Od e A: 1,04% e 2,11% (Quadro 4).

Em suma, considerando a intensidade dos picos da DRX e ATD, firmam-se os principais constituintes da fração argila no horizonte Od, a saber: predomínio da Ka e da Ha, secundariamente a VHE, e a seguir a Gb; e menores teores de Qz e depois a Mi e, por último, vestígios da Gt.

As DRX das frações areia grossa (Figura 56) e areia fina (Figura 57), mostram o predomínio do Qz no horizonte Od, através da intensidade maior e do número maior dos seus picos. Também aparecem picos de intensidade baixa do Fd e de intensidade baixíssima da Mi.

O Perfil 4 apresenta grau de intemperismo baixo, evidenciado pelas suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas. As características morfológicas mostram pouco desenvolvimento da cor e da profundidade. As características físicas mostram a textura média e

a relação silte/argila elevada e a presença do material clástico. As características mineralógicas mostram teores baixos dos minerais secundários.

Considerando a intensidade dos picos da DRX e da ATD, firmam-se as prováveis seqüências de transformações mineralógicas do horizonte Od do Perfil 4:

- a) feldspato  $\Rightarrow$  caulinita e Ha  $\Rightarrow$  gibbsita;
- b) mica  $\Rightarrow$  VHE;
- c) feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita.

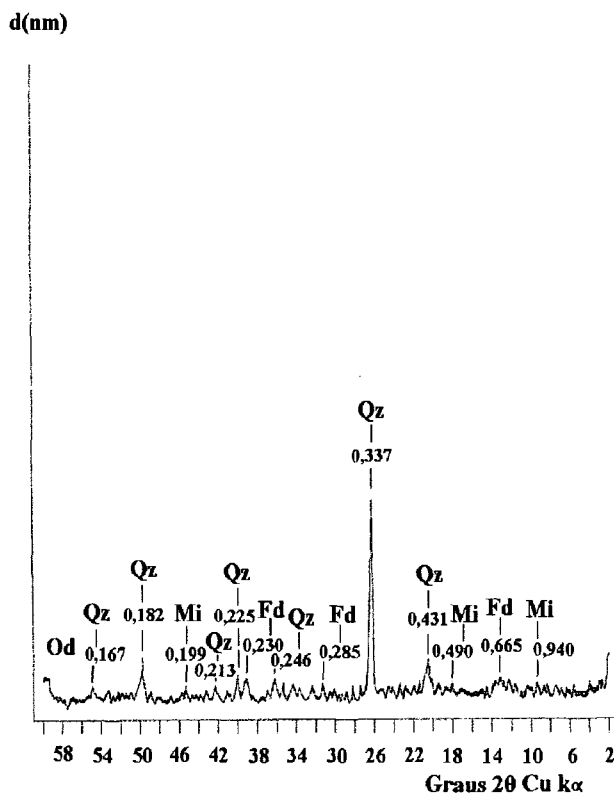


FIGURA 56 - Difratoograma de raios-X da fração areia grossa do horizonte selecionado do Perfil 4

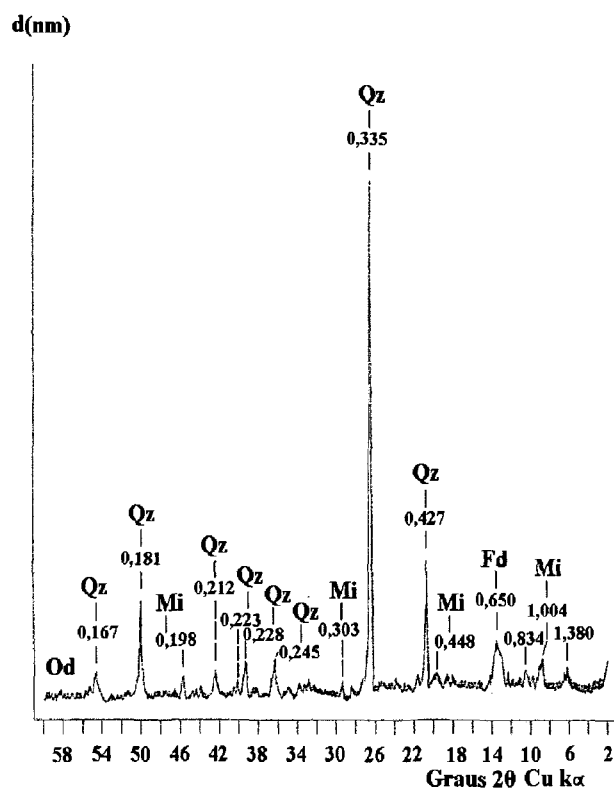


FIGURA 57 - Difratoograma de raios-X da fração areia fina do horizonte selecionado do Perfil 4

## 6 CONCLUSÕES

Os solos estudados são extremamente pobre em nutrientes e apresentam caráter álico. A princípio, a composição mineralógica do riólito é a principal responsável pelos baixos teores de nutrientes nos solos. Por outro lado, o excedente da precipitação e o relevo favorecem a intensa lixiviação dos nutrientes e explicam, em parte, a frequência de solos ácidos e álicos. Por fim, o clima é o mais importante condicionador da fertilidade dos solos altimontanos, pois mesmo um material de origem rico em bases produziria solos pobres.

O clima é responsável pelos teores elevados de C orgânico dos solos altimontanos. A preservação de níveis elevados de C orgânico demonstra que a taxa de decomposição é módica. Com a elevação da altitude diminui a temperatura e aumenta a umidade, ocorrendo um contínuo aumento nos teores de C orgânico, determinando diferentes classes de horizontes superficiais: moderado, húmico e folístico (orgânico).

A seqüência típica de solos altimontanos, caracteriza-se por apresentar no interflúvio solos rasos e pouco profundos (Litólicos e Cambissolos) ou Afloramentos de Rocha, e à medida que se avança ao vale, os solos tornam-se mais profundos, predominando Cambissolos.

A vegetação, sob tal condição climática, superúmida, varia seu porte sobretudo com a espessura do solo: onde o solo é raso, a vegetação é arbustiva e tortuosa (1.200 m), chegando a campo (1.400 m); nos vales os solos são profundos e a vegetação é frondosa.

Apesar das elevadas precipitações da região, o regime hídrico dos solos não é molhado e sim úmido, pois o relevo permite a saída da água e determina as condições de drenagem dos solos. Dessa forma, os solos apresentam regime hídrico údico (< 1.000 m) e perúdico (> 1.000 m) e regime térmico méxico.

O relevo é o responsável pelas condições de drenagem dos solos altimontanos e pela gênese de solos afins (Perfil 3 e Perfil 4) com os Solos Orgânicos de drenagem livre. As elevações da Serra do Mar, no geral caracterizam-se por interflúvios estreitos, a despeito de, em situações isoladas, ocorrerem interflúvios amplos, podendo haver eventual má drenagem.

O Perfil 1 foi o primeiro Latossolo Variação Una classificado no Estado do Paraná, a sua ocorrência, a princípio, se restringe à borda da formação Guaratubinha com o migmatito. Os Perfis 2, 3 e 4 foram classificados como Podzólico Bruno-Acinzentado, Cambissolo e Litólico, respectivamente.

A característica distintiva magna da subclasse de latossolos argilosos (%  $\text{Fe}_2\text{O}_{3s}$ ) contempla simultaneamente 3 subclasses: LU, LE e LB. Isso demonstra a sua fragilidade no propósito maior que é distinguir, por apresentar grande sobreposição no seu intervalo de variação de classe.

Nos Perfis 2, 3 e 4, derivados do riólito, predomina a fração silte na composição granulométrica, que é incomum à maioria dos solos brasileiros.

A definição de material orgânico da classificação em vigor foi derivada em parte da Classificação Americana, somente abrange as condições de hidromorfismo. Como consequência, a definição de Solo Orgânico e de horizonte orgânico, também contempla somente condições de drenagem impedida. Então, na ocasião de classificar um horizonte orgânico (folístico) e Solo Orgânico em condições de drenagem livre, eles são geralmente indevidamente classificados, como horizonte turfoso (hidromórfico) e Solo Orgânico (hidromórfico) respectivamente, à revelia das suas condições distintas de drenagem.

O Perfil 3 (1.210 m) e o Perfil 4 (1.150 m) são afins com os Solos Orgânicos de drenagem livre, de acordo com a proposta efetuada no presente trabalho. Na 3.<sup>a</sup> Aproximação a classe 13 de solos representa o grupamento dos Solos Orgânicos, e inclui os Solos Semi-Orgânicos, apesar de não defini-los. Em elevações maiores que essas possivelmente existam, a

rigor, Solos Orgânicos de drenagem livre. Os Perfis 3 e 4 apresentam camadas e horizontes orgânicos de drenagem livre, que não são contemplados pela classificação em vigor, pois ela somente admite horizonte orgânico (turfo) sob condições de hidromorfismo.

A proposta para material orgânico de drenagem livre: C orgânico  $\geq 13,33\%$  e condições de drenagem livre. A proposta para horizonte orgânico (folístico) de drenagem livre: presença de material orgânico e horizonte mineral subjacente com espessura  $> 10$  cm. A proposta para Solo Orgânico de drenagem livre: presença de material orgânico, qualquer espessura, desde que repouse: diretamente sobre contato lítico ou litóide, ou; sobre material fragmentar e os seus interstícios sejam preenchidos total ou parcialmente com material orgânico, ou; apresente camada mineral  $\leq 10$  cm entre o contato e o material orgânico.

O solo da unidade de mapeamento Lavras, classificado como Solo Litólico (BRASIL, 1973), é Solo Orgânico de drenagem livre de acordo com a proposta enunciada no presente trabalho, e *Folist* de acordo com a Classificação Americana.

A classificação em vigor é reticente em relação à característica distintiva magna da classe de Solos Litólicos, a espessura, quando não delimita parâmetros para ela.

Em todos os perfis os teores da gibbsita aumentam com a profundidade, e essa tendência intensifica-se nos Perfis 2, 3 e 4, que apresentam teores maiores de C orgânico. Os horizontes superficiais apresentam teores elevados de C orgânico, que interferem na cristalização da gibbsita, impedindo-a e/ou retardando-a.

Os minerais predominantes na fração argila em ordem decrescente, nos Perfis 1, 2, 3 e 4 respectivamente: caulinita, goethita, VHE; haloisita, VHE, gibbsita; gibbsita, caulinita, VHE; caulinita e haloisita, VHE e gibbsita.

As prováveis seqüências de transformações mineralógicas dos perfis:

a) Perfil 1: feldspato  $\Rightarrow$  caulinita; mica  $\Rightarrow$  VHE; feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita;

- b) Perfil 2: feldspato  $\Rightarrow$  haloisita (alguma Ka); mica  $\Rightarrow$  VHE; feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita;
- c) Perfil 3: feldspato  $\Rightarrow$  gibbsita; feldspato  $\Rightarrow$  Ka (alguma Ha)  $\Rightarrow$  Gb; mica  $\Rightarrow$  VHE;
- d) Perfil 4: feldspato  $\Rightarrow$  caulinita e Ha  $\Rightarrow$  gibbsita; mica  $\Rightarrow$  VHE; feldspato  $\Rightarrow$  Gb.

Em todos os perfis o óxido de Fe predominante na fração argila é a goethita: com elevada substituição por Al no Perfil 1 (25 mol %), moderada no Perfil 3 (16 mol %) e baixa no Perfil 2 (4 mol %).

Os Perfis 1, 2, 3 e 4 apresentam grau de intemperismo, respectivamente: elevado, moderado, baixo e baixo; evidenciados através das suas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.



## **7 RECOMENDAÇÕES**

Com o objetivo de avançar no conhecimento de solos da região da Serra do Mar-PR, são colocadas sugestões para trabalhos futuros:

- a) descrições de perfis nas elevações com altitudes superiores a 1.200 m;
- b) descrições de perfis nas maiores elevações;
- c) descrições de perfis na borda da formação Guaratubinha com o migmatito;
- d) estudo de uma seqüência de topos, iniciando na divisa com o Primeiro Planalto do Paraná até a divisa com o Litoral;
- e) realização do fracionamento da matéria orgânica para elucidar qual o ácido orgânico predominante e o responsável pela inibição do desenvolvimento da gibbsita nos horizontes superficiais;
- f) realização da DRX para determinar a mineralogia da fração silte;
- g) realização da mineralogia visual quantitativa da fração areia;
- h) realização da mineralogia quantitativa do riólito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AB'SÁBER, A.N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Boletim do CEPEGE**, São Paulo, n. 3, p. 1-26, 1970.
- 2 AB'SÁBER, A.N. Potencialidades paisagísticas brasileiras. **Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia**, São Paulo, n. 3, p. 1-27, 1977.
- 3 AB'SÁBER, A.N.; BIGARELLA, J.J. Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Mar no Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4-5, p. 94-110, nov. 1961.
- 4 ALLEN, B.L.; HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 199-278.
- 5 BARNHISEL, R.I.; BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 729-788.
- 6 BESOAIN, E. Minerales secundarios del suelo : silicatos cristalinos. In: \_\_\_\_\_. **Mineralogia de arcillas de suelos**. Costa Rica : Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985.
- 7 BIGARELLA, J.J. Introdução e Código florestal brasileiro. In: \_\_\_\_\_. **A Serra do Mar e a porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba : [s.n.], 1978a. p. 5-18.
- 8 BIGARELLA, J.J. Mudanças climáticas e sua importância na formação da Baía de Paranaguá. In: \_\_\_\_\_. **A Serra do Mar e a porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba : [s.n.], 1978b. p. 37-56.
- 9 BIGARELLA, J.J. Serra do Mar e a zona de piemonte. In: \_\_\_\_\_. **A Serra do Mar e a porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba : [s.n.], 1978c. p. 69-94.

- 10 BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. Significado paleogeográfico e paleoclimático dos depósitos rudáceos. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 7-16, jul. 1965a.
- 11 BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. Contribuição ao estudo da formação Pariquera-Açu-SP. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 17-41, jul. 1965b.
- 12 BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 85-116, jul. 1965a.
- 13 BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 117-151, jul. 1965b.
- 14 BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. Ocorrências de sedimentos continentais na região litorânea de Santa Catarina e sua significação paleoclimática. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 4-5, p. 179-187, nov. 1961.
- 15 BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BOWEN, L.H. *et al.* Iron oxide mineralogy of well drained Ultisols and Oxisols: I. Characterization of iron oxides in soil clays by Mössbauer spectroscopy, X-ray diffractometry, and selected chemical techniques. **Soil Science Society of America Journal**, Chigago, v. 42, n. 4, p. 816-825, July/Aug. 1978.
- 16 BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).
- 17 BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. Histosols: Organic Soils. In: \_\_\_\_\_. **Soil genesis and classification**. 3rd. ed. Madison : Iowa State University, 1989. p. 228-239.
- 18 CAMARGO, M.N.; KLANT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 1-24, 1987.
- 19 CAMARGO, M.N.; JACOMINE, P.K.T.; CARVALHO, A.P. *et al.* The brazilian classification of latosols. In: BEINROTH, F.H. *et al.* **Proceedings of the eighth**

**international soil classification workshop.** Rio de Janeiro : EMBRAPA/SMSS/UPR, 1988, p. 190-199.

- 20 CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. *et al.* **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos.** Campinas : Instituto Agrônômico de Campinas, 1986, 94 p. (Boletim Técnico, 106).
- 21 CASTRO, N.A. **Bacia Guaratubinha-PR.** Curitiba : UFPR, 1993. 96 p.
- 22 COMEC. **Carta topográfica de São José dos Pinhais-PR.** Curitiba, 1985.
- 23 CLINE, M.G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, Baltimore, v. 67, p. 81-91, June/Jan. 1949.
- 24 CURI, N.; KÄMPF, N.; RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia de solos originados de rochas efusivas das Encostas Superior e Inferior do Nordeste, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 269-276, set./dez. 1984.
- 25 DIXON, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: \_\_\_\_\_. **Minerals in soil environments.** 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 467-525.
- 26 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** Rio de Janeiro, 1979. [n.p.].
- 27 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná.** Londrina, 1984. 791 p. v. 1 e 2. (Boletim de Pesquisa, 27) (IAPAR. Boletim Técnico, 16).
- 28 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo.** 2. ed. Rio de Janeiro, 1988a. 54 p. (Documento, 3).
- 29 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidade de mapeamento, normas em uso pelo SNLCS.** Rio de Janeiro, 1988b. 67 p. (Documento, 11).

- 30 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos (3.<sup>a</sup> Aproximação)**. Rio de Janeiro, 1988c. 122 p. (Circulação Restrita).
- 31 ESTADOS UNIDOS. Soil Survey Staff. **Soil taxonomy** : a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1975. 754 p. (Agriculture Handbook, 436).
- 32 ESTADOS UNIDOS. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 6th. ed. Washington, 1994. 306 p.
- 33 ESWARAN, H.; WONG, C.B. A study of a deep weathering profile on granite in peninsular Malaysia : III. Alteration of feldspars. **Soil Science Society of America Journal**, Chicago, v. 42, p. 154-158, Jan./Feb. 1978.
- 34 EVERETT, K.R. Histosols. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F. **Pedogenesis and soil taxonomy, II. The soil orders**. Amsterdam : Elsevier, 1983. p. 1-51.
- 35 FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E. A formação Guaratubinha. In: BIGARELLA, J.J. *et al.* Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subseqüentes da porção Oriental do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 23-25, p. 237-255, 1967.
- 36 GODOY, H.; CORRÊA, A.R. Carta climática do Estado do Paraná. In: Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1978. 41 p.
- 37 HILDEBRAND, C. **Manual de análise química de solos e plantas**. Curitiba : UFPR, 1977. [n.p.].
- 38 HSU, P.H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. Madison : Soil Science Society of America, 1977. p. 99-143.
- 39 HSU, P.H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 331-378.

- 40 JACKSON, M.L. Aluminon bonding in soils : a unifying principle in soil science. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 27, n. 1, p. 1-10, Jan./Feb. 1963.
- 41 KÄMPF, N.; DICK, D.P. Óxidos de ferro em Cambissolos Brunos no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 183-188, maio/ago. 1984.
- 42 KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, n. 29, p. 27-39, 1983.
- 43 KINJO, T. Conceitos de acidez dos solos: acidez e calagem no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO (15. : 1983 : Campinas). **Anais**. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 23-31.
- 44 KWONG, K.F.; HUANG, P.M. Influence of citric acid on the crystallization of aluminum hydroxides. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 23, n. 2, p. 164-165, May 1975.
- 45 KWONG, K.F.; HUANG, P.M. The relative influence of low-molecular-weight, complexing organic acids on the hydrolysis and precipitation of aluminum. **Soil Science**, Baltimore, v. 128, n. 6, p. 337-342, Dec. 1979.
- 46 LEINZ, V.; AMARAL, S.E. Minerais e rochas. In: \_\_\_\_\_. **Geologia geral**. 11. ed. São Paulo : Nacional, 1989a. p. 33-52.
- 47 LEINZ, V.; AMARAL, S.E. Vulcanismo. In: \_\_\_\_\_. **Geologia geral**. 11. ed. São Paulo : Nacional, 1989b. p. 251-291.
- 48 LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2. ed. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1984. 45 p.
- 49 MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba : Max Roesnes, 1968. 350 p.
- 50 McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. 2nd. ed. Ottawa : Canadian Society of Soil Science, 1978. 212 p.

- 51 MOUSINHO, M.R.; BIGARELLA, J.J. Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. **Boletim paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, p. 43-84, jul. 1965.
- 52 MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1975. [n.p.].
- 53 NIMER, E. Análise dinâmica da precipitação pluviométrica na região serrana do Sudeste, especialmente na serra das Araras. In: \_\_\_\_\_. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro : Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989a. p. 79-194.
- 54 NIMER, E. Climatologia da região Sul. In: \_\_\_\_\_. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro : Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989b. p. 195-263.
- 55 OADES, J.M. An introduction to organic matter in minerals soils. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 89-159.
- 56 OLIVEIRA, J.B.; RESENDE, M.; CURI, N. Caracterização e classificação de Latossolos Variação Una e de solos afins da região de Guaíra-SP. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 207-218. maio/ago. 1991.
- 57 OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2. ed. Jaboticabal : Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia Medicina Veterinária e Zootecnia, 1992. 201 p.
- 58 OLIVEIRA, J.B. Correlação entre as unidades da legenda FAO/UNESCO com as classes de solos em uso no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 73-120, set./dez. 1992.
- 59 OLMOS, I.L.J.; CAMARGO, M.N. Conceituação preliminar de Podzólicos Bruno-Acinzentados tentativamente identificados no país. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Conceituação sumária de algumas classes de solos recém reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS**. Rio de Janeiro, 1982. p. 25-28. (Circular Técnica, 1).

- 60 PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C. *et al.* **Manual de análise química do solo**. Londrina : Instituto Agronômico do Paraná, 1991. 27 p.
- 61 RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas : Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81).
- 62 RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Uso das relações  $K_i$  e  $K_r$  na estimativa da mineralogia para classificação dos Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA (3. : 1988 : Rio de Janeiro). **Anais**. Rio de Janeiro : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1988. p. 225-232. (Documento, 12).
- 63 ROCHA, H.O. **Die böden und geomorphologischen Einheiten der region von Curitiba-Brasilien**. Freiburg, 1981. Tese (Doutorado em Solos)-Universität Abert-Ludwigs.
- 64 ROCHA, H.O. *et al.* **Levantamento geomorfológico com ênfase em solos, na porção Sul de tombamento da Serra do Mar-PR-Área 6**. Curitiba : Universidade Federal do Paraná-Instituto de Terras, Cartografia e Florestas, 1992. 60 p.
- 65 ROCHA, H.O.; GHANI, N.L.B.; SCHMIDLIN, D. *et al.* **Levantamento de solos do Parque Estadual Pico Marumbi-Serra do Mar-PR**. Curitiba : Universidade Federal do Paraná-Instituto Ambiental do Paraná, 1995. 30 p.
- 66 RODERJAN, C.V. **O gradiente da floresta ombrófila densa no morro Anhangava, Quatro Barras, PR-aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. Curitiba, 1994. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 67 SANTOS, M.C. **Climosseqüência de solos de rochas cristalinas ácidas na Serra do Mar-RJ**. Rio de Janeiro, 1979. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Setor de Ciências dos Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- 68 SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides.VIII. unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v. 32, n. 1, p. 36-44, 1984.



- 69 SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. Madison : Soil Science Society of America, 1977. p. 145-180.
- 70 SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2nd. ed. Madison : Soil Science Society of America, 1989. p. 379-438.
- 71 VELOSO, H.P; RANGEL FILHO, A.L.R; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro : Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 45 p.
- 72 VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro : Equipe de Pedologia e Fertilidade dos Solos, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).